



# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-077754

(43)Date of publication of application : 23.03.2001

(51)Int.Cl.

H04B 10/02  
G02F 1/313  
G02F 1/365  
H04J 14/00  
H04J 14/02

(21)Application number : 11-247105

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 01.09.1999

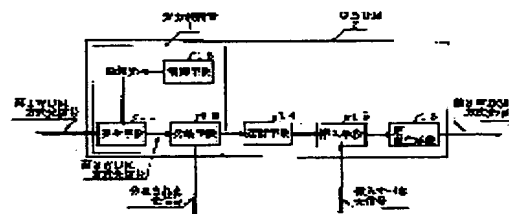
(72)Inventor : INAGAKI SHINYA  
TAKEDA KEIKO  
MORIYA KAORU

## (54) OPTICAL DEMULTIPLEXING DEVICE AND OPTICAL DEMULTIPLEXING AND MULTIPLEXING DEVICE

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To demultiplex one light signal having arbitrary wavelength by making good use of 4-light-wave mixture carried out in an optical fiber.

SOLUTION: In the optical demultiplexing device 1, a 1st WDM(wavelength- division multiplex) light signal generated by multiplexing multiple light signals of different wavelengths is made incident on a generating means 11. The generating means 11 generates a 2nd WDM light signal by 4-light-wave mixture with the 1st WDM light signal and incident exciting light. The 1st and 2nd WDM light signals are made incident on a demultiplexing means 12 provided in the stage following the generating means 11. The demultiplexing means 12 extracts light of specific wavelength. Then a control means 13 controls the wavelength of the mentioned exciting light. Consequently, the channel of the WDM light signal demultiplexed by the demultiplexing means 12 is changed by varying the wavelength of the exciting light, so an arbitrary channel can be demultiplexed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

07.05.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-77754

(P2001-77754A)

(43) 公開日 平成13年3月23日 (2001.3.23)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 4 B	10/02	H 0 4 B 9/00	U 2 K 0 0 2
G 0 2 F	1/313	G 0 2 F 1/313	5 K 0 0 2
	1/365	1/365	
H 0 4 J	14/00	H 0 4 B 9/00	E
	14/02		

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平11-247105

(22) 出願日 平成11年9月1日 (1999.9.1)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 稲垣 真也

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 武田 恵子

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100072718

弁理士 古谷 史旺 (外1名)

最終頁に続く

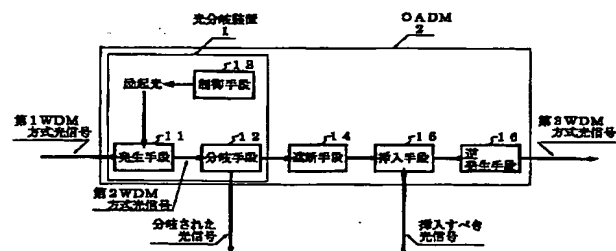
(54) 【発明の名称】 光分岐装置および光分岐・挿入装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、4光波混合を用いてWDM方式光信号の分岐する分岐装置および分岐・挿入・透過を行う光分岐・挿入装置に関する。

【解決手段】 本発明にかかる光分岐装置1では、複数の波長の光信号を多重した第1 WDM方式光信号は、発生手段11に入射される。発生手段11は、この第1 WDM方式光信号と入射される励起光とで4光波混合による第2 WDM方式光信号を発生させる。第1 WDM方式光信号と第2 WDM方式光信号とは、発生手段11の後段に設けた分岐手段12に入射される。分岐手段12は、特定の波長の光を取り出す。そして、制御手段13は、上述の励起光の波長を制御する。このように構成することにより、励起光の波長を変更することにより分岐手段12で分岐されるWDM方式光信号におけるチャンネルが変更されるので、任意のチャンネルを分岐することができる。

図1ないし図4に記述の発明の原理構成



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の波長の光信号を多重した第 1 波長分割多重方式光信号と、

該第 1 波長分割多重方式光信号と励起光とで 4 光波混合による第 2 波長分割多重方式光信号を発生させる発生手段と、

該発生手段の後段に設けた特定の波長の光を取り出す分岐手段と、

前記励起光の波長を制御する制御手段とを設けたことを特徴とする光分岐装置。

【請求項 2】 複数の波長の光信号を多重した第 1 波長分割多重方式光信号と、

該第 1 波長分割多重方式光信号と励起光とで 4 光波混合による第 2 波長分割多重方式光信号を発生させる発生手段と、

該発生手段の後段に設けた特定の波長の光を取り出す分岐手段と、

該分岐手段の後段に設けた前記特定の波長と同じ波長の光信号を挿入する挿入手段と、

該挿入手段の後段に設け、前記光信号を挿入された前記第 2 波長分割多重方式光信号と前記励起光とで 4 光波混合による第 3 波長分割多重方式光信号を発生させる逆発生手段と、

前記分岐手段の前段または後段のいずれか一方に設けた前記第 1 波長分割多重方式光信号を遮断する遮断手段と、

前記励起光の波長を制御する制御手段とを設けたことを特徴とする光分岐・挿入装置。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の光分岐装置において、前記発生手段は、前記励起光の波長範囲において波長分散がほぼ零である光ファイバであることを特徴とする光分岐装置。

【請求項 4】 請求項 2 に記載の光分岐・挿入装置において、

前記発生手段は、前記励起光の波長範囲において波長分散がほぼ零である光ファイバであることを特徴とする光分岐・挿入装置。

【請求項 5】 複数の波長の光信号を多重した第 1 波長分割多重方式光信号と、

複数の励起光と、

前記第 1 波長分割多重方式光信号と前記励起光とが入射され、前記励起光のうちの 1 個の励起光に対しては前記第 1 波長分割多重方式光信号のうちの特定の波長の光信号に 4 光波混合を生じさせて第 2 波長分割多重方式光信号を発生する発生手段と、

該発生手段の後段に設けた前記第 1 波長分割多重方式光信号を取り出す分岐手段と、

該分岐手段の後段に設けた前記発生手段で励起光と 4 光波混合を起こした波長と同じ波長の光信号を前記第 2 波長分割多重方式光信号に挿入する挿入手段と、

該挿入手段の後段に設け、前記光信号を挿入された前記第 2 波長分割多重方式光信号と前記励起光とで 4 光波混合による第 3 波長分割多重方式光信号を発生させる逆発生手段と、

前記複数の励起光の中から所定の励起光を発生させる制御手段とを設けたことを特徴とする光分岐・挿入装置。

【請求項 6】 複数の波長の光信号を多重した第 1 波長分割多重方式光信号と、

複数の励起光と、

10 前記励起光のうちの 1 個の励起光に対しては前記第 1 波長分割多重方式光信号のうちの特定の波長の光信号に 4 光波混合を生じさせる発生手段と、

該発生手段の後段に設けた該発生手段で生じた光信号を取り出す分岐手段と、

前記複数の励起光の中から所定の励起光を発生させる制御手段とを設けたことを特徴とする光分岐装置。

【請求項 7】 複数の波長の光信号を多重した第 1 波長分割多重方式光信号と、

複数の励起光と、

20 前記励起光のうちの 1 個の励起光に対しては前記第 1 波長分割多重方式光信号のうちの特定の波長の光信号に 4 光波混合を生じさせる発生手段と、

該発生手段の後段に設けた該発生手段で生じた光信号を取り出す分岐手段と、

該分岐手段の後段に設けた前記複数の励起光によって 4 光波混合を起こす光信号を遮断して取り除かれた第 2 波長分割多重方式光信号を透過する遮断透過手段と、

30 該透過遮断手段の後段に設けた該透過遮断手段で遮断された光信号と同じ波長の光信号を前記第 2 波長分割多重方式光信号に挿入する挿入手段と、

前記複数の励起光の中から所定の励起光を発生させる制御手段とを設けたことを特徴とする光分岐・挿入装置。

【請求項 8】 請求項 2、請求項 4、請求項 5 および請求項 7 のいずれか 1 項に記載の光分岐・挿入装置において、

前記分岐手段から取り出された光信号を受信・処理する光受信手段と、

前記挿入手段で挿入される前記光信号を生成する光送信手段とをさらに備えることを特徴とする光分岐・挿入装置。

40 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、4 光波混合を用いて波長分割多重方式光信号から光信号を分岐する光分岐装置に関する。さらに、4 光波混合を用いて波長分割多重方式光信号の分岐・挿入・透過を行う光分岐・挿入装置に関する。将来のマルチメディアネットワークの構築を目指し、超長距離でかつ大容量の光通信システムが要求されている。この大容量化を実現する方式として、波長分割多重 (wavelength-division multiplexing、以

下、「WDM」と略記する。)方式が、光ファイバの広帯域・大容量性を有効利用できるなどの有利な点から研究開発が進められている。特に、近年では、2端局間でWDM方式光信号を送受信する光通信システムだけでなく、光伝送路の途中で設けられたノードと呼ばれる中継局で、波長多重された光信号のうちのある特定な波長の光信号だけを選択的に透過させ、それを除く波長の光信号をそのノードで分岐したり、このノードから別の光信号を挿入して他のノードへ送信したりするADM (add-drop multiplexer) 機能を持つ光通信システムの実現が要求されている。このため、光通信システムのキーデバイスである、ADM機能を持つ光分岐・挿入装置(以下、「OADM」と略記する。)の研究が盛んである。

【0002】

【従来の技術】このようなOADMについて、例えば、特開平11-055184号公報に開示されている。図13は、従来のOADMの構成を示す図である。図13において、OADM120では、前のノードからのWDM方式光信号は、3つのポートT1、T2、T3を備える光サーキュレータ(optical circulator、以下、「OC」と略記する。)110のT1に入射される。

【0003】このOC110において、ポートT1から入射された光は、ポートT2に射出され、ポートT2から入射された光は、ポートT3に射出され、そして、ポートT3から入射された光は、ポートT1に射出される。OC110のポートT2は、特定の波長 $\lambda_y$ の光のみを反射し、その他の波長の光を透過するファイバブレーティングフィルタ(fiber bragg grating filter、以下、「FBG」略記する。)111に接続され、OC110のポートT3は、光信号を受信・処理する光信号受信回路に接続される。

【0004】FBG111を透過した他の波長の光信号(波長 $\lambda_y$ の光信号を含まない。)は、光を1方向のみに透過させる光アイソレータ(以下、「ISO」と略記する。)112を介してFBG113に入射される。FBG113も特定の波長 $\lambda_y$ の光のみを反射し、その他の波長の光を透過する。FBG113を透過した光信号は、OC110と同様な作用効果を持つOC114のポートT3から入射される波長 $\lambda_y$ の光信号と合波され、OC114のポートT1に入射されてポートT2から後のノードへ射出される。また、OC114のポートT3には、波長 $\lambda_y$ の光信号を生成する光信号生成回路に接続される。ここで、ISO112は、FBG111とFBG113との間での多重反射を防止している。

【0005】このようなOADM120では、入射されるWDM方式光信号のうち特定の波長 $\lambda_y$ の光信号は、FBG111で反射されてOC110のポートT2に入射される。そして、この波長 $\lambda_y$ の光信号は、OC110でポートT2からポートT3に分岐される。一方、FBG111を透過した他の波長の光信号は、OC

114のポートT3から挿入される波長 $\lambda_y$ の光信号と合波されて、OC114のポートT2から別のノードへ射出される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、図13に示すOADM120では、FBG111、113の反射波長が固定であるので、分岐・挿入される光信号の波長 $\lambda_y$ が光伝送システムの構築時に決定されてしまうため、光伝送システムの運用中に分岐・挿入される光信号の波長を任意に変更できないという問題がある。

【0007】そして、複数の波長を分岐・挿入する場合には、OADM120を分岐・挿入する光信号の数だけ必要となるため、光回路部品が多くなりかつ光回路が複雑化するという問題もある。そこで、請求項1および請求項3に記載の発明では、光ファイバ中で起こる4光波混合を利用することにより、WDM方式光信号から任意の波長の光信号を分岐することができる光分岐装置を提供することを目的とする。

【0008】また、請求項2、請求項4および請求項8に記載の発明では、光ファイバ中で起こる4光波混合を利用することにより、WDM方式光信号から任意の波長の光信号を分岐・挿入することができるOADMを提供することを目的とする。さらに、請求項5、請求項7および請求項8に記載の発明では、光ファイバ中で起こる4光波混合を利用することにより、任意の波長でかつ複数の光信号を分岐・挿入することができるOADMを提供することを目的とする。

【0009】また、請求項6に記載の発明では、光ファイバ中で起こる4光波混合を利用することにより、任意の波長でかつ複数の光信号をWDM方式光信号から分岐することができる光分岐装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】以下、図面を用いて解決するための手段を説明する。

【0011】(請求項1ないし請求項4)図1は、請求項1ないし請求項4に記載の発明の原理構成を示す図である。図1において、請求項1に記載の発明にかかる光分岐装置1では、複数の波長の光信号を多重した第1WDM方式光信号は、発生手段11に入射される。発生手段11は、この第1WDM方式光信号と入射される励起光とで4光波混合による第2WDM方式光信号を発生させる。

【0012】第1WDM方式光信号と第2WDM方式光信号とは、発生手段11の後段に設けた分岐手段12に入射される。分岐手段12は、特定の波長の光を取り出す。そして、制御手段13は、上述の励起光の波長を制御する。図1において、請求項2に記載の発明にかかるOADM2では、複数の波長の光信号を多重した第1WDM方式光信号は、発生手段11に入射される。発生手

段11は、この第1WDM方式光信号と入射される励起光とで4光波混合による第2WDM方式光信号を発生させる。

【0013】第1WDM方式光信号と第2WDM方式光信号とは、発生手段11の後段に設けた分岐手段12に入射される。分岐手段12は、特定の波長の光を取り出す。特定の波長の光を取り出された第1WDM方式光信号と第2WDM方式光信号とは、分岐手段12の後段に設けた分断手段14に入射される。断手段14は、第1WDM方式光信号を断する。

【0014】ここで、図1では、分岐手段12の後段に断手段14を備える構成を図示するが、断手段14は、分岐手段12の前段にあってもよい。すなわち、断手段14は、分岐手段12の前段または後段のいずれか一方に設けられる。断手段14からの第2WDM方式光信号は、挿入手段15に入射される。挿入手段15は、分岐手段12で取り出された特定の波長と同じ波長の光信号を挿入する。

【0015】挿入手段15で光信号を挿入された第2WDM方式光信号は、挿入手段15の後段に設けた逆発生手段16に入射される。逆発生手段16は、この第2WDM方式光信号と励起光とで4光波混合による第3WDM方式光信号を発生させる。そして、制御手段13は、上述の励起光の波長を制御する。図1において、請求項3に記載の発明では、請求項1に記載の光分岐装置1において、発生手段11は、励起光の波長範囲において波\*

$$\omega_c = 2\omega_b - \omega_a$$

が成立し、この式1は、エネルギー保存則に対応している。

【0019】請求項1ないし請求項4に記載の発明は、各周波数 $\omega_a$ の光をWDM方式光信号の各 $ch$ に対応させ、角周波数 $\omega_b$ （波長 $\lambda_b$ ）の光を励起光に対応させる。そして、4光波混合により発生する角周波数 $\omega_c$ を使用して分岐・挿入するものである。以下、図2（b）～（d）に基づいて、任意の $ch$ に対して分岐・挿入することができることについて説明する。

【0020】なお、WDM方式光信号では、波長 $\lambda$ を用いて作用効果などを説明するが、上述のように4光波混合では、角周波数を用いて説明するので、以下、角周波数を用いて本発明について説明し、特に必要な場合にのみ波長を用いる。この際、角周波数 $\omega_z$ に対応する波長を波長 $\lambda_z$ のように表示する。図2（b）は、6波のWDM方式光信号から $ch_5$ を分岐・挿入する場合を示し、一方、図（d）は、この6波のWDM方式光信号から $ch_2$ を分岐・挿入する場合を示す。そして、図（c）は、分岐・挿入される光の角周波数 $\omega_r$ の位置を示し、この角周波数 $\omega_r$ は、固定である。

【0021】今、説明を簡単にするために6波のWDM※

$$\omega_r = \omega_{5\#}$$

とする必要がある。

\*長分散がほぼ零である光ファイバであることで構成する。

【0016】図1において、請求項4に記載の発明では、請求項2に記載のOADM2において、発生手段11は、励起光の波長範囲において波長分散がほぼ零である光ファイバであることで構成する。一般に、光ファイバの屈折率は、コアが大きくクラッドが小さい2段階の分布であるが、請求項3および請求項4に記載の発明にかかる光ファイバでは、例えば、分散フラット光ファイバのように、コアの屈折率を大きくクラッドの屈折率を小さくするだけでなく、コアとクラッドとの境界の微小領域に、コア側の屈折率を小さくクラッド側の屈折率を大きくする領域を設けることで作ることができる。

【0017】図2は、4光波混合により任意の光信号を挿入・分岐する原理を説明するための図である。図2の各図は、光スペクトルを表し、その横軸は、角周波数（波長、チャンネル）である。なお、以下、チャンネルを「 $ch$ 」と略記する。

【0018】このような請求項1ないし請求項4に記載の発明について、図2に基づいてその作用効果を説明する。4光波混合は、3つの光が3次の非線形分極を介して第4の光を発生する現象である。ここで、3つの光のうち2つが同じ角周波数の場合には、図2（a）に示すように、角周波数 $\omega_a$ および $\omega_b$ の2つの光から $\omega_c$ の光が発生する。これら角周波数の間には、

$$\dots \quad \text{〔式1〕}$$

※方式光信号について説明するが、任意の多重度のWDM方式光信号の場合も同様に考えることができる。6波のWDM方式光信号の $ch_j$ の角周波数を $\omega_j$ とし、 $ch_k$ を分岐・挿入するために4光波混合を生じさせる励起光の角周波数を $\omega_{pk}$ とする。この場合に $ch_j$ に対応する4光波混合によって生じる光の角周波数を $\omega_{j\#}$ とする。例えば、 $ch_1$ の角周波数は、 $\omega_1$ となる。 $ch_1$ を分岐・挿入する場合の励起光の角周波数は、 $\omega_{p1}$ 、4光波混合によって生じた光の角周波数は、 $\omega_{1\#}$ となる。

【0022】まず、 $ch_5$ を分岐・挿入する場合には、発生手段11は、角周波数 $\omega_1 \sim \omega_6$ の第1WDM方式光信号に4光波混合を生じさせて角周波数 $\omega_{1\#} \sim \omega_{6\#}$ の第2WDM方式光信号を生じさせる。ここで、第2WDM方式光信号の各 $ch$ は、それぞれ対応する元の第1WDM方式光信号の各 $ch$ と同一の情報を含む。請求項1ないし請求項4に記載の発明は、4光波混合により発生する光信号を使用して分岐・挿入するものであるから、分岐・挿入させる光信号の角周波数 $\omega_r$ に、 $ch_5$ の光信号から4光波混合によって生じる光信号の角周波数 $\omega_{5\#}$ を一致させる必要がある。すなわち、図2（b）に示すように、

$$\dots \quad \text{〔式2〕}$$

50 【0023】この〔式2〕を成立させるために制御手段

13は、励起光の波長 $\lambda_{p5}$ 、つまり、角周波数 $\omega_{p5}$ を \* \* [式1]を参照して、

$$\omega_{p5} = (\omega_5 + \omega_r) / 2$$

... [式3]

に制御する。このように励起光の角周波数 $\omega_p$ を制御すると、分岐手段12は、特定の波長 $\lambda_r$ つまり、角周波数 $\omega_r$ の光信号を取り出すから、角周波数 $\omega_5$ の光信号、すなわち、 $ch_5$ を取り出すことができる。

【0024】また、遮断手段14は、第1WDM方式光信号を遮断する。このように第1WDM方式光信号（角周波数 $\omega_1 \sim \omega_6$ ）を遮断するのは、後述するように逆発生手段16によって角周波数 $\omega_1 \sim \omega_6$ の光信号に相当する光信号が生成されるためである。

【0025】そして、挿入手段15は、第2WDM方式光信号において、取り出されて「空き」となった角周波数 $\omega_5$ の位置に光信号を挿入することができる。その後、各周波数 $\omega_5$ の光信号を挿入された第2WDM方式光信号を逆発生手段16で角周波数 $\omega_{p5}$ の励起光によっ※

$$\omega_{p2} = (\omega_2 + \omega_r) / 2$$

... [式4]

に制御手段13によって制御すればよい。

【0027】このように励起光の角周波数 $\omega_p$ を制御することによって、分岐手段12は、角周波数 $\omega_{2\#}$ の光信号、すなわち、 $ch_2$ を取り出すことができる。挿入手★

$$\omega_r = \omega_{k\#}$$

が成立するように、制御手段13は、励起光の波長 $\lambda_p$  ☆ ☆ $k$ 、つまり、角周波数 $\omega_{pk}$ を

$$\omega_{pk} = (\omega_k + \omega_r) / 2$$

... [式6]

に制御すればよい。ただし、角周波数 $\omega_n$ が離散的な数値であるため、角周波数 $\omega_{pk}$ も離散的な数値である。ま◆

$$(\omega_1 + \omega_r) / 2 \leq \omega_{pk} \leq (\omega_n + \omega_r) / 2$$

... [式7]

である。

【0028】したがって、請求項1ないし請求項4に記載の発明では、制御手段13は、励起光の角周波数 $\omega_p$ を[式6]に従って制御するので、4光波混合を利用することにより特定の波長の光を取り出す分岐手段12によって、任意の $ch$ を分岐・挿入することができる。そして、取り出される光信号の角周波数は、取り出される $ch$ に拘わらず、常に角周波数 $\omega_r$ で一定なので、光受信装置は、角周波数 $\omega_r$ の光信号を受信・処理する装置を用意するだけでよい。さらに、挿入する光信号の角周波数は、挿入する $ch$ に拘わらず、常に角周波数 $\omega_r$ で一定なので、角周波数 $\omega_r$ の光信号を生成する光送信装置を用意するだけでよい。このため、 $ch$ ごとに光受信装置および光送信装置を用意する必要がないので、光受信装置および光送信装置を含めたOADMを簡素化することができる。

【0029】（請求項5）図3は、請求項5に記載の発明の原理構成を示す図である。図3において、請求項5に記載の発明にかかるOADM4では、複数の波長の光信号を多重した第1WDM方式光信号は、発生手段21に入射される。そして、複数の励起光も、発生手段21に入射される。各励起光は、第1WDM方式光信号にお\*

$$\omega_x + \omega_{x\#} = 2\omega_{px}$$

... [式8]

※て再び4光波混合を引き起こす。この再度の4光波混合によって生じる各光信号の角周波数は、[式1]を満たすので、角周波数 $\omega_1 \sim \omega_6$ となる。すなわち、第3WDM方式光信号における各 $ch$ の波長は、第1WDM方式光信号における各 $ch$ の波長にそれぞれ対応する。このため、挿入手段15および逆発生手段16は、 $ch_5$ に新たな光信号を挿入したWDM方式光信号を逆発生手段16から射出することができる。

【0026】一方、 $ch_2$ を分岐・挿入する場合には、図2(d)に示すように、分岐・挿入させる光信号の角周波数 $\omega_r$ に、 $ch_2$ の光信号から4光波混合により生じる光信号の角周波数 $\omega_{2\#}$ を一致させる必要があるから、励起光の波長 $\lambda_{p2}$ 、つまり、角周波数 $\omega_{p2}$ を

★段15は、「空き」となった角周波数 $\omega_{2\#}$ の位置に $ch_2$ に対応する光信号を挿入することができる。一般に、 $n$ 波のWDM方式光信号のうちから $ch_k$ を分岐・挿入する場合には、

... [式5]

☆ $k$ 、つまり、角周波数 $\omega_{pk}$ を

◆た、角周波数 $\omega_{pk}$ の範囲は、

\*ける光信号ごとに設けられる。

【0030】発生手段21は、これら励起光のうちの1個の励起光に対しては第1WDM方式光信号のうちの特定の波長の光信号に4光波混合を生じさせて第2WDM方式光信号を発生する。第1WDM方式光信号と第2WDM方式光信号とは、発生手段21の後段に設けた分岐手段22に入射される。分岐手段22は、第1WDM方式光信号を取り出す。

【0031】分岐手段22からの第2WDM方式光信号は、分岐手段22の後段に設けた挿入手段25に入射される。挿入手段25は、発生手段21で励起光と4光波混合を起こした波長と同じ波長の光信号を第2WDM方式光信号に挿入する。この光信号を挿入された第2WDM方式光信号は、挿入手段25の後段に設けた逆発生手段26に入射される。逆発生手段26は、その光信号を挿入された第2WDM方式光信号と励起光とで4光波混合による第3WDM方式光信号を発生させる。

【0032】そして、制御手段23は、複数の励起光の中から所定の励起光を発生させる。請求項5に記載の発明の発生手段21は、角周波数 $\omega_x$ 、伝搬定数 $\beta_x$ の光に角周波数 $\omega_{px}$ 、伝搬定数 $\beta_{px}$ の励起光で4光波混合を生じさせた場合に、

$$\beta x + \beta x\# = 2\beta px$$

の2式を同時に満たす角周波数 $\omega x\#$ 、伝搬定数 $\beta x\#$ の4光波混合光のみを生じる特性を持つ光ファイバである。

【0033】請求項1ないし請求項4に記載の発明に使用される発生手段11は、1個の励起光 $\omega p$ を作用させると第1 WDM方式光信号におけるすべての光信号、つまり、第1波長 $\lambda 1$ ないし第 $n$ 波長 $\lambda n$ のすべての光信号に対して第1#波長 $\lambda 1\#$ ないし第 $n$ #波長 $\lambda n\#$ の4光波混合光を生じさせるが、発生手段21は、【式8】および【式9】を同時に満たす特性を持つので、1個の励起光 $\omega px$ 、 $\beta px$ に対して第1波長 $\lambda 1$ ないし第 $n$ 波長 $\lambda n$ うちの特定の光信号 $\omega x$ 、 $\beta x$ のみに作用し、この特定の光信号に対応する4光波混合光 $\omega x\#$ 、 $\beta x\#$ のみを生じさせる。

【0034】複数の励起光は、各第1波長 $\lambda 1$ ないし第 $n$ 波長 $\lambda n$ に対して4光波混合を生じさせる第1励起光波長 $\lambda p1$ ないし第 $n$ 励起光波長 $\lambda pn$ の励起光である。制御手段23は、挿入手段25で挿入される光信号と等しい波長の光信号を除いた第1 WDM方式光信号に対して、4光波混合を生じさせる波長の励起光を発生させるように制御する。例えば、挿入手段25から波長 $\lambda 2$ および波長 $\lambda 4$ の光信号が挿入される場合には、制御手段25は、波長 $\lambda 1$ 、波長 $\lambda 3$ 、および、波長 $\lambda 5$ ないし波長 $\lambda n$ に対して4光波混合を生じさせる第1励起光波長 $\lambda p1$ 、第3励起光波長 $\lambda p3$ 、および、第5励起光波長 $\lambda p5$ ないし第 $n$ 励起光波長 $\lambda pn$ の励起光を発生させる。

【0035】このため、発生手段21から射出される光は、第1 WDM方式光信号、所定の励起光およびこのOADMを透過する光信号に対応する第2 WDM方式光信号である。分岐手段22は、第1 WDM方式光信号を取り出すので、分岐手段22から射出される光は、所定の励起光および第2 WDM方式光信号である。発生手段21で励起光と4光波混合を起こした波長と同じ波長の光信号を挿入手段25で第2 WDM方式光信号に挿入され、これらの光信号は、逆発生手段26に入射される。

【0036】そして、逆発生手段26に入射された光信号は、【式8】および【式9】を同時に満たす4光波混合光のみを生じる発生手段21と同じ特性を持つ逆発生手段26に入射される。このため、逆発生手段26から射出される光は、所定の励起光、第2 WDM方式光信号、挿入手段25で挿入された光信号および第2 WDM方式光信号に対応する4光波混合光によって生じた再4光波混合光である。

【0037】ここで、第2 WDM方式光信号に対応する4光波混合光によって生じた再4光波混合光は、元のこのOADMを透過する光信号と同じ情報を含む。さらに、挿入手段25で挿入された光信号とこの再4光波混合光とを多重した第3 WDM方式光信号における各 $c h$ の波長は、第1 WDM方式光信号における各 $c h$ の波長にそれぞれ対応する。このため、挿入手段25および逆

・・・ 【式9】

発生手段26は、新たな光信号を挿入したWDM方式光信号を逆発生手段26から射出することができる。

【0038】このように請求項5に記載の発明では、制御手段23によって励起光の波長および励起光の個数を制御することによって任意の波長でかつ複数の光信号を分岐・挿入することができる。

(請求項6および請求項7)図4は、請求項6および請求項7に記載の発明の原理構成を示す図である。

【0039】図4において、請求項6に記載の発明にかかる光分岐装置5では、複数の波長の光信号を多重した第1 WDM方式光信号は、発生手段31に入射される。そして、複数の励起光も、発生手段31に入射される。各励起光は、第1 WDM方式光信号における光信号ごとに設けられる。発生手段31は、これら励起光のうちの1個の励起光に対しては第1 WDM方式光信号のうちの特定の波長の光信号に4光波混合を生じさせる。この発生手段31で生じた光信号は、発生手段31の後段に設けた分岐手段32で取り出される。

【0040】そして、制御手段33は、複数の励起光の中から所定の励起光を発生させる。図4において、請求項7に記載の発明にかかるOADM6では、複数の波長の光信号を多重した第1 WDM方式光信号は、発生手段31に入射される。そして、複数の励起光も、発生手段31に入射される。各励起光は、第1 WDM方式光信号における光信号ごとに設けられる。

【0041】発生手段31は、これら励起光のうちの1個の励起光に対しては第1 WDM方式光信号のうちの特定の波長の光信号に4光波混合を生じさせる。この発生手段31で生じた光信号は、発生手段31の後段に設けた分岐手段32で取り出される。一方、分岐手段32から射出された第1 WDM方式光信号は、分岐手段32の後段に設けた遮断透過手段34に入射される。遮断透過手段34は、第1 WDM方式光信号から複数の励起光によって4光波混合を起こす光信号を遮断して取り除かれた第2 WDM方式光信号を射出する。

【0042】射出された第2 WDM方式光信号は、遮断透過手段34の後段に設けた挿入手段35に入射される。挿入手段35は、遮断透過手段34で遮断された光信号と同じ波長の光信号を第2 WDM方式光信号に挿入する。そして、制御手段33は、複数の励起光の中から所定の励起光を発生させる。このように請求項6に記載の発明にかかる光分岐装置では、上述の【式8】および【式9】を満たす発生手段31によって、第1 WDM方式光信号から取り出すべき光信号のみに4光波混合を起こさせる。このため、請求項6に記載の発明にかかる光分岐装置5では、所定の励起光によって、任意の波長でかつ複数の光信号を分岐することができる。

【0043】一方、請求項7に記載の発明にかかるOADM6では、透過遮断手段34によって、分岐手段32



で取り出された4光波混合光を生成する元になった光信号を第1WDM方式光信号から取り除き、第1WDM方式光信号に光信号を挿入するための「空き」を作る。そして、挿入手段35でこの「空き」に挿入すべき光信号を挿入する。このため、請求項7に記載の発明にかかるOADM6では、所定の励起光によって、任意の波長でかつ複数の光信号を分岐・挿入することができる。

【0044】(請求項8)請求項8に記載の発明では、請求項2、請求項4、請求項5および請求項7のいずれか1項に記載のOADMにおいて、分岐手段12、22、32から取り出された光信号を受信・処理する光受信手段と、挿入手段15、25、35で挿入される光信号を生成する光送信手段とをさらに備えて構成される。

【0045】以下、図面に基づいて本発明における実施の形態を説明する。

【0046】

【発明の実施の形態】(第1の実施形態の構成)第1の実施形態におけるOADMは、請求項1ないし請求項4、および、請求項8に記載の発明に対応する実施形態である。

【0047】図5は、第1の実施形態におけるOADMの構成を示す図である。図6は、第1の実施形態のOADMにおける各箇所の光スペクトルを示す図である。図7は、第1の実施形態のOADMにおいて4光波混合を生じさせる光ファイバの波長分散特性を示す図である。

【0048】なお、図6の横軸は、角周波数(波長)である。図7の縦軸は、 $ps/\mu m/km$ 単位で表示した波長分散であり、横軸は、 $\mu m$ 単位で表示した波長である。第1の実施形態におけるOADMは、32波のWDM方式光信号のうちから任意の1個のchを分岐・挿入するものである。図5において、前のノードから伝送された32波のWDM方式光信号は、カブラ52の一方の入射ポートに入射される。一方、後述する制御回路65によって発振角周波数を制御されるチューナブルレーザ(以下、「TLD」と略記する。)50によって発生したレーザ光は、1.55 $\mu m$ 帯域の光を増幅するエルビウム添加光ファイバ増幅器(erbium doped fiber amplifier、以下、「EDFA」と略記する。)51で増幅されて、カブラ52の他方の入射ポートに入射される。TLD50は、駆動電流(注入電流)を制御することによって発振波長(発振角周波数)が変化する可変波長ブラッグ反射型半導体レーザである。

【0049】カブラ52に入射されたWDM方式光信号とレーザ光とは、このカブラ52で合波されて光ファイバ53に入射される。光ファイバ53は、図7に示す波長分散特性を持つ光ファイバ、すなわち、約1.57 $\mu m$ ないし約1.60 $\mu m$ で波長分散が低分散の分散フラット光ファイバ(dispersion-flattened fiber)である。この光ファイバ53でWDM方式光信号は、レーザ光によって4光波混合を起こす。

【0050】光ファイバ53から射出された励起光、WDM方式光信号および4光波混合によって生じたWDM方式光信号は、誘電体多層膜フィルタのカブラ54に入射される。カブラ54は、WDM方式光信号を含む波長帯域と励起光および4光波混合によるWDM方式光信号を含む波長帯域とに分離する。カブラ54で分離したWDM方式光信号は、何も接続されていない射出ポートへ射出され、破棄される。一方、カブラ54で分離した励起光および4光波混合によるWDM方式光信号は、3つのポートT1、T2、T3を備えるOC55のT1に入射される。

【0051】このOC55は、ポートT1から入射された光は、ポートT2に射出され、ポートT2から入射された光は、ポートT3に射出され、そして、ポートT3から入射された光は、ポートT1に射出される。後述するOC61も同様である。OC55のポートT1に入射された4光波混合によるWDM方式光信号は、ポートT2から射出され、反射型光フィルタ58に入射される。反射型光フィルタ58は、FBGであり、角周波数 $\omega_r$ (波長 $\lambda_r$ )の光信号のみを反射し、残余の光信号を透過させる。すなわち、反射波長の中心が $\lambda_r$ に設定され、反射波長帯域が4光波混合によるWDM方式光信号のチャンネル波長間隔に設定される。

【0052】反射型光フィルタ58で反射された角周波数 $\omega_r$ の光信号は、再びOC55のポートT2に入射され、ポートT3から射出される。ポートT3から射出された角周波数 $\omega_r$ の光信号は、EDFA56で増幅され、光信号を受信・処理する分岐光信号受信回路57に入射される。分岐光信号受信回路57は、分岐された角周波数 $\omega_r$ の光信号を復調して情報を取り出す、あるいは、この分岐光信号受信回路57に接続される別の光ネットワーク(図5に不図示)に光信号を送出する。

【0053】また、反射型光フィルタ58を透過した4光波光混合によるWDM方式光信号(角周波数 $\omega_r$ の光信号を含まない。)および励起光は、OC61のポートT1に入射される。

【0054】一方、このノードで挿入すべき光信号を生成する挿入光信号生成回路59によって生成された角周波数 $\omega_r$ の光信号は、EDFA60に入射され、このEDFA60で増幅される。この挿入光信号生成回路59は、例えば、角周波数 $\omega_r$ のレーザ光を発振する半導体レーザとこの半導体レーザからのレーザ光を伝送すべき情報で変調するマッハツェンダー形光変調器(Mach-Zender interferometer type optical modulator)などから構成することができる。

【0055】EDFA60で増幅された角周波数 $\omega_r$ の光信号は、OC61のポートT3に入射され、ポートT1を介して反射型光フィルタ58に入射される。そして、角周波数 $\omega_r$ の光信号は、反射型光フィルタ58で反射され、再びOC61のポートT1に入射される。O

C61のポートT1に入射した4光波混合によるWDM方式光信号(角周波数 $\omega_r$ の光信号を含まない。)および励起光と角周波数 $\omega_r$ の光信号とは、波長多重されてOC61のポートT2を介して光ファイバ62へ射出される。

【0056】光ファイバ62は、励起光によって4光波混合によるWDM方式光信号( $\omega_r$ の光信号を含む。)に再び4光波混合を起こし、再4光波混合によるWDM方式光信号を生成する。光ファイバ62から射出された4光波混合によるWDM方式光信号(角周波数 $\omega_r$ の光信号を含む。)と再4光波混合によるWDM方式光信号は、光フィルタ63に入射される。

【0057】光フィルタ63は、WDM方式光信号(角周波数 $\omega_r$ の光信号を含む。)を遮断するとともに再4光波混合によるWDM方式光信号を透過させる誘電体多層膜フィルタである。光フィルタ63から射出された再4光波混合によるWDM方式光信号は、EDFA64によって増幅され、次のノードへ伝送される。

【0058】(本発明と第1の実施形態との対応関係)請求項1および請求項3に記載の発明と第1の実施形態との対応関係については、発生手段は光ファイバ53に対応し、分岐手段はOC55および反射型光フィルタ58に対応し、制御手段は制御回路65に対応する。請求項2および請求項4に記載の発明と第1の実施形態との\*

$$\omega_p = \omega_{ps} = (\omega_s + \omega_r) / 2$$

]

となるようにTLD50の駆動電流を制御すればよい。

【0061】例えば、ch1を分岐・挿入する場合には、 $\omega_p = \omega_{p1} = (\omega_1 + \omega_r) / 2$ とし、ch5を分岐・挿入する場合には、 $\omega_p = \omega_{p5} = (\omega_5 + \omega_r) / 2$ とすればよい。具体的な数値としては、32波のWDM方式光信号を波長1.53 $\mu\text{m}$ ~1.56 $\mu\text{m}$ の帯域に0.8nm間隔で配置した場合に、TLD50として波長1.58 $\pm$ 0.01 $\mu\text{m}$ を使用して励起光を波長1.58 $\mu\text{m}$ ~1.61 $\mu\text{m}$ の範囲で変更する。そして、この励起光によってWDM方式光信号を波長1.62 $\mu\text{m}$ ~1.65 $\mu\text{m}$ の帯域に4光波混合による光信号を生成する。この場合には、光フィルタ63は、波長1.61 $\mu\text{m}$ の光を遮断するように設定すればよい。

【0062】このように制御回路65は、分岐・挿入すべきchに応じて[式10]に従いTLD50の駆動電流を制御する。TLD50は、駆動電流により[式10]に従う角周波数 $\omega_{ps}$ のレーザ光を発振し、このレーザ光は、EDFA51で増幅されてカブラ52に入射される。EDFA51の利得は、光ファイバ53および光ファイバ62で4光波混合を起こすのに充分な利得である。ここで、EDFA51は、1個の光ファイバ増幅器では、充分な利得が得られない場合には、充分な利得が得られるように光ファイバ増幅器を数段カスケードした増幅器とすればよい。

\*対応関係については、発生手段は光ファイバ53に対応し、分岐手段はOC55および反射型光フィルタ58に対応し、挿入手段は反射型光フィルタ58およびOC61に対応し、逆発生手段は光ファイバ62に対応し、遮断手段はカブラ54に対応し、制御手段は制御回路65に対応する。

【0059】請求項8に記載の発明と第1の実施形態との対応関係については、光受信手段は分岐光信号受信回路57に対応し、光送信手段は挿入光信号生成回路59に対応する。

(第1の実施形態の作用効果)このような構成のOADMにおいて、32波のWDM方式光信号からchs(角周波数 $\omega_s$ 、波長 $\lambda_s$ 、 $s$ は $1 \leq s \leq 32$ の整数)を分岐・挿入する場合について、その作用効果を説明する。

【0060】第1の実施形態においては、反射型光フィルタ58の反射波長 $\lambda_r$ (角周波数 $\omega_r$ )によって分岐・挿入する光の波長(角周波数)が決定される。このため、前述の原理で説明したように、chsの光から4光波混合によって生じる光の角周波数 $\omega_{s\#}$ を反射型光フィルタ58の角周波数 $\omega_r$ に一致させる必要がある。よって、制御回路65は、chsの光を分岐・挿入するためには、TLD50が発振するレーザ光の角周波数 $\omega_p$ を[式6]に従い、

$$\dots \quad [\text{式}10]$$

【0063】図5に示す箇所aにおける前のノードからこのノードに入射される光は、図6(a)に示すように、角周波数 $\omega_1 \sim \omega_{32}$ の32個の光信号(WDM方式光信号)である。この32個の光信号は、角周波数 $\omega_{ps}$ のレーザ光とカブラ52で合波され、光ファイバ53に入射される。そして、32個の光信号は、光ファイバ53中で、角周波数 $\omega_{ps}$ のレーザ光によって[式1]に従う4光波混合を起こされる。このため、図5に示す箇所bにおける光ファイバ53の射出端の光は、図6(b)に示すように、角周波数 $\omega_1 \sim \omega_{32}$ の32個の光信号、角周波数 $\omega_{ps}$ のレーザ光および角周波数 $\omega_{1\#} \sim \omega_{32\#}$ の32個の4光波混合による光信号である。ここで、4光波混合による各光信号は、それぞれ元の光信号と同一の情報を含む。

【0064】これらの光信号は、カブラ54で角周波数 $\omega_1 \sim \omega_{32}$ の32個の光信号を除去され、角周波数 $\omega_{ps}$ のレーザ光および角周波数 $\omega_{1\#} \sim \omega_{32\#}$ の32個の4光波混合による光信号のみがOC55のポートT1に入射される。ポートT1に入射されたこれらの光は、ポートT2から射出され、反射型光フィルタ58に入射される。そして、反射型光フィルタ58でこれらの光のうちから反射型光フィルタ58の反射波長 $\lambda_r$ の波長の光(角周波数 $\omega_s$ の光)は、反射され、残余の光は、透過されてOC61のポートT1に入射される。すなわち、

レーザ光の角周波数は、[式10]を満たすように制御されるため $\omega_r = \omega_{s\#}$ であるから、反射型光フィルタ58で角周波数 $\omega_{s\#}$ の光信号が反射される。

【0065】反射された角周波数 $\omega_{s\#}$ の光信号は、OC55のポートT2からポートT3に射出され、EDFA56を介して分岐光信号受信回路57で、受信・処理される。EDFA56で角周波数 $\omega_{s\#}$ の光信号を増幅するのは、分岐光信号受信回路57で受信・処理に必要な光パワーを確保するためである。ここで、角周波数 $\omega_{s\#}$ の光信号は、chsの光信号と同一の情報を含むので、この角周波数 $\omega_{s\#}$ の光信号を受信・処理することは、chsを受信・処理することに相当する。

【0066】したがって、第1の実施形態におけるOADMは、制御回路65、TLD50、EDFA51、カブラ52、光ファイバ53、OC55および反射型光フィルタ58によってchsを分岐することができ、EDFA56および分岐光信号受信回路57でchsを受信・処理することができる。また、反射型光フィルタ58で角周波数 $\omega_{s\#}$ の光信号が除去されるから、図5に示す箇所(c)における光は、図6(c)に示すように、角周波数 $\omega_{ps}$ のレーザ光および角周波数 $\omega_{1\#} \sim \omega_{32\#}$ から角周波数 $\omega_{s\#}$ を除いた31個の4光波混合による光信号である。これら31個の光信号は、OC61のポートT1に入射される。

【0067】一方、挿入光信号生成回路59で生成され\*

$$\omega_{1\$} = \omega_1, \omega_{2\$} = \omega_2, \dots, \omega_{31\$} = \omega_{31}, \omega_{32\$} = \omega_{32} \dots \text{[式11]}$$

が成立する。そして、各角周波数 $\omega_{1\$} \sim \omega_{32\$}$ の32個の光信号は、それぞれ角周波数 $\omega_{1\#} \sim \omega_{32\#}$ の32個の光信号と同一の情報を含むから、結局、各角周波数 $\omega_{1\$} \sim \omega_{32\$}$ の32個の光信号は、それぞれ角周波数 $\omega_1 \sim \omega_{32}$ の32個の光信号と同一の情報を含む。

【0071】光ファイバ62から射出された角周波数 $\omega_{1\#} \sim \omega_{32\#}$ の32個の光信号、角周波数 $\omega_{ps}$ のレーザ光および角周波数 $\omega_{1\$} \sim \omega_{32\$}$ の32個の光信号は、光フィルタ63に入射され、光フィルタ63でこれらのなかから角周波数 $\omega_{1\#} \sim \omega_{32\#}$ の32個の光信号および角周波数 $\omega_{ps}$ のレーザ光が遮断される。このため、図5に示す箇所fの光フィルタ63の射出端における光は、図6(f)に示すように角周波数 $\omega_{1\$} \sim \omega_{32\$}$ の32個の光信号、すなわち、角周波数 $\omega_1 \sim \omega_{32}$ の32波のWDM方式光信号である。

【0072】こうしてchsに新たな情報を含む光信号が挿入され他のchにはこのノードに入射前の情報が維持された32波のWDM方式光信号が次のノードへ射出される。したがって、第1の実施形態におけるOADMは、制御回路65、TLD50、EDFA51、カブラ52、OC61、反射型光フィルタ58、光ファイバ62および光フィルタ63によってchsを挿入することができ、EDFA60および挿入光信号生成回路59でchsを生成することができる。

\*た角周波数 $\omega_{s\#}$ の光信号は、EDFA60で31個の光信号の光パワーと合わせるために増幅されて、OC61のポートT3に入射される。この生成された角周波数 $\omega_{s\#}$ の光信号は、OC61のポートT1から射出され、 $\omega_r = \omega_{s\#}$ であるから反射型光フィルタ58で反射されて、再びOC61のポートT1に入射される。

【0068】OC61のポートT1に入射された31個の光信号と生成された角周波数 $\omega_{s\#}$ の光信号とは、OC61で波長多重されて、ポートT2から射出される。このため、図5に示す箇所dの光は、図6(d)に示すように、角周波数 $\omega_{ps}$ のレーザ光および角周波数 $\omega_{1\#} \sim \omega_{32\#}$ の32個の4光波混合による光信号であり、生成された角周波数 $\omega_{s\#}$ の光信号は、4光波混合後のchsに対応する位置に挿入される。

【0069】この角周波数 $\omega_{1\#} \sim \omega_{32\#}$ の32個の光信号は、光ファイバ62に入射される。そして、32個の光信号は、光ファイバ62中で、角周波数 $\omega_{ps}$ のレーザ光によって[式1]に従う4光波混合を再び起こされる。このため、図5に示す箇所eにおける光ファイバ62の射出端の光は、図6(e)に示すように、角周波数 $\omega_{1\#} \sim \omega_{32\#}$ の32個の光信号、角周波数 $\omega_{ps}$ のレーザ光および角周波数 $\omega_{1\$} \sim \omega_{32\$}$ の32個の4光波混合による光信号である。

【0070】ここで、[式1]より、

【0073】また、第1の実施形態におけるOADMは、上述のように分岐・挿入するchの変更が励起光の波長 $\lambda_p$ の変更によって行われるため、作製の容易な反射波長固定の反射型光フィルタを使用することができるという利点がある。さらに、第1の実施形態におけるOADMは、上述のように分岐・挿入するchの変更が励起光の波長 $\lambda_p$ の変更によって行われるため、励起光の波長 $\lambda_p$ の精度を高めることが重要である。制御回路65によるTLD50の発振波長の安定化が不十分な場合には、TLD50の発振波長を固定するマルチ波長ロッカーをEDFA51の前後のいずれか一方に設けるのが好適である。

【0074】次に、別の実施形態について説明する。

(第2の実施形態の構成) 第2の実施形態におけるOADMは、請求項5および請求項8に記載の発明に対応する実施形態である。図8は、第2の実施形態におけるOADMの構成を示す図である。

【0075】図9は、第2の実施形態のOADMにおける各箇所の光スペクトルを示す図である。図10は、第2の実施形態のOADMにおいて4光波混合を生じさせる光ファイバの波長分散特性とその角周波数伝搬定数特性を示す図である。

【0076】なお、図9の横軸は、角周波数(波長)である。図10(a)の縦軸は、波長分散であり、横軸

は、波長である。また、図10(b)の縦軸は、伝搬数であり、横軸は、波長である。第2の実施形態におけるOADMは、8波のWDM方式光信号のうちから任意のchを分岐・挿入するものである。

【0077】図8において、前のノードから伝送された8波のWDM方式光信号は、EDFA92に入射され、増幅後にWDMカブラ73の一方の入射ポートに入射される。一方、後述する制御回路80によってそれぞれ発振角周波数を制御される8個のTLD70によって発生したレーザ光は、WDMカブラ71に入射され、合波される。合波されたレーザ光は、光ファイバ増幅器（以下、「FA」と略記する。）72で増幅されて、WDMカブラ73の他方の入射ポートに入射される。各TLD70は、駆動電流（注入電流）を制御することによって発振波長（発振角周波数）が変化する可変波長ブラッグ反射型半導体レーザである。

【0078】これらTLD70、WDMカブラ71およびEDFA72から励起光源95が構成される。ここで、各TLD70の発振波長は、WDM方式光信号の各光信号に対して【式8】および【式9】を満たす必要がある。このため、制御回路80による各TLD70の発振波長の安定化が不十分な場合には、各TLD70の発振波長を固定する波長ロッカーをWDMカブラ71と各TLD70との間にそれぞれ設けるのが好適である。

【0079】WDMカブラ73に入射されたWDM方式光信号と励起光であるレーザ光とは、このWDMカブラ73で合波されて光ファイバ74に入射される。光ファイバ74は、図10に示す波長分散特性を持つ光ファイバである。すなわち、図10(a)に示すように、光ファイバ74の波長分散角周波数特性は、極大値を有し、その極大値を中心角周波数として波長分散が非対称である。さらに、この非対称性は、光ファイバ74の特性を伝搬定数角周波数特性で表すと、図10(b)に示すように、角周波数 $\omega_x$ 、伝搬定数 $\beta_x$ の光に対して角周波数 $\omega_{px}$ 、伝搬定数 $\beta_{px}$ の励起光を作用させることにより発生する4光波混合光の角周波数、伝搬定数をそれぞれ $\omega_{x\#}$ 、 $\beta_{x\#}$ とすると、これらの間には、上述の【式8】および【式9】が同時に成立する関係にある。

【0080】なお、図10(b)には、一例として、角周波数 $\omega_s$ 、 $\omega_t$ 、 $\omega_u$ の各光に対してそれぞれに対応する角周波数 $\omega_{ps}$ 、 $\omega_{pt}$ 、 $\omega_{pu}$ の励起光を作用させることにより発生する角周波数 $\omega_{s\#}$ 、 $\omega_{t\#}$ 、 $\omega_{u\#}$ の各4光波混合光を示す。図8に戻って、この光ファイバ74でWDM方式光信号は、励起光であるレーザ光によって4光波混合を起こす。

【0081】光ファイバ74から射出された励起光、WDM方式光信号および4光波混合によって生じたWDM方式光信号は、誘電体多層膜フィルタのWDMカブラ75に入射される。一方、レーザ光を発光する半導体レーザ（以下、「LD」と略記する。）80-1からのレーザ

光は、EDFA82-2に入射される。LD81-1の発振波長は、WDM方式光信号のch1の波長 $\lambda_1$ に対応する。EDFA82-2で増幅されたレーザ光は、光フィルタ83-1に入射される。光フィルタ83-1は、FBGであり、その中心反射波長は、ch1の波長である波長 $\lambda_1$ に設定され、反射率は、低反射率に設定される。一般に、LDは、発振波長として設計された波長を中心に多モード発振するが、このような光フィルタ83-1を使用することによりLD81-1の発振波長を波長 $\lambda_1$ の単一モード発振に安定させることができる。このため、光フィルタ83-1に接続される光変調器84-1に波長 $\lambda_1$ のレーザ光のみを供給することができる。光変調器84-1は、その駆動を制御回路80によって制御される間接変調のマッハツェンダー形光変調器である。光変調器84-1に入射されたレーザ光は、送出すべき情報で変調されて光信号としてWDMカブラ85に入射される。

【0082】このようなLD81-1、EDFA82-1、光フィルタ83-1および光変調器84-1から構成される光回路をch2ないしch8について同様な構成で光回路を構成する。これら各chの光回路におけるLD81-2~80-8および光フィルタ83-2~80-8は、それぞれ対応するchの波長に合わせてその発振波長および中心反射波長が設計される。

【0083】これらLD81、EDFA82、光フィルタ83、光変調器84、WDMカブラ85およびEDFA86から挿入光信号生成回路96が構成される。各光変調器84から射出された各chは、WDMカブラ85に入射され、合波されてこのOADMで挿入されるべき光信号となる。この光信号は、EDFA86に入射され、増幅されてWDMカブラ75に入射される。

【0084】WDMカブラ75は、前述の光ファイバ74からの励起光、WDM方式光信号および4光波混合によって生じたWDM方式光信号の中からWDM方式光信号をEDFA87へ分波するとともに、EDFA86からの挿入されるべき光信号を励起光および4光波混合によって生じたWDM方式光信号に合波する。合波された励起光、4光波混合によって生じたWDM方式光信号および挿入されるべき光信号は、光ファイバ74と同様な波長分散角周波数特性を持つ光ファイバ76に入射され、励起光によって4光波混合によるWDM方式光信号に再び4光波混合を起こし、再4光波混合によるWDM方式光信号を生成する。

【0085】光ファイバ76から射出された励起光、4光波混合によって生じたWDM方式光信号、挿入されるべき光信号および再4光波混合によるWDM方式光信号は、光フィルタ78に入射される。光フィルタ78は、励起光と4光波混合によって生じたWDM方式光信号とを遮断するとともに挿入されるべき光信号と再4光波混合によるWDM方式光信号とを透過させる誘電体多層膜フィルタである。

10

20

30

40

50

【0086】光フィルタ78から射出された再4光波混合によるWDM方式光信号は、EDFA93によって増幅され、次のノードへ伝送される。一方、WDMカブラ75で分離されたWDM方式光信号は、EDFA87に入射され増幅される。増幅されたWDM方式光信号は、光を8つに分岐する1×8カブラ88に入射される。分岐した各WDM方式光信号は、それぞれ光フィルタ89-1〜89-8に入射される。

【0087】光フィルタ89-1は、中心波長をch1の波長に設定された帯域通過光フィルタである。光フィルタ89-1から射出されたch1は、EDFA90-1で増幅され、光受信器91-1に入射される。光受信器91-1は、制御回路80によって制御され、受信したch1を復調して情報を取り出す、あるいは、この光受信器91-1に接続される別の光ネットワーク(図8に不図示)にch1を送出する。

【0088】このような光フィルタ89-1、EDFA90-1および光受信器91-1から構成される光回路をch2ないしch8について同様な構成で光回路を構成する。これら各chの光回路における光フィルタ89-2〜89-8は、対応するchの波長に合わせてその通過帯域が設計される。これらEDFA87、1×8カブラ88、光フィルタ89、EDFA90および光受信器91から分岐光信号受信回路97が構成される。

【0089】(本発明と第2の実施形態との対応関係)請求項5に記載の発明と第2の実施形態との対応関係については、発生手段は光ファイバ74に対応し、分岐手段はWDMカブラ75に対応し、挿入手段はWDMカブラ75に対応し、逆発生手段は光ファイバ76に対応し、制御手段は制御回路80に対応する。

【0090】請求項8に記載の発明と第2の実施形態との対応関係については、光受信手段は分岐光信号受信回路97に対応し、光送信手段は挿入光信号生成回路96に対応する。

(第2の実施形態の作用効果)このような構成のOADMにおいて、8波のWDM方式光信号から、例えば、ch3、ch5およびch6を分岐・挿入する場合について、その作用効果を説明する。

【0091】第2の実施形態においては、制御回路80は、8個のTLD70の中から分岐・挿入されずに通過するchの個数に等しい個数のTLD70を選択する。この例では、ch3、ch5およびch6を分岐・挿入するので、5個のTLD70、例えば、TLD70-1〜70-5を選択する。そして、制御回路80は、これら5個のTLD70にch1、ch2、ch4、ch7およびch8に4光波混合を生じさせる波長 $\lambda_{p1}$ 、 $\lambda_{p2}$ 、 $\lambda_{p4}$ 、 $\lambda_{p7}$ 、 $\lambda_{p8}$ (角周波数 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ 、 $\omega_{p4}$ 、 $\omega_{p7}$ 、 $\omega_{p8}$ )の励起光をそれぞれ発振させる。

【0092】ここで、発振した各励起光は、WDMカブラ71で合波されるため、各波長 $\lambda_{p1}$ 、 $\lambda_{p2}$ 、 $\lambda_{p4}$ 、 $\lambda_{p7}$ 、 $\lambda_{p8}$ をTLD70-1〜70-5にどのように割り当ててもよい。例えば、TLD70-1には波長 $\lambda_{p1}$ を、TLD70-2には波長 $\lambda_{p2}$ を、TLD70-3には波長 $\lambda_{p4}$ を、TLD70-4には波長 $\lambda_{p7}$ を、そして、TLD70-5には波長 $\lambda_{p8}$ を割り当ててもよく、あるいは、TLD70-1には波長 $\lambda_{p2}$ を、TLD70-2には波長 $\lambda_{p4}$ を、TLD70-3には波長 $\lambda_{p7}$ を、TLD70-4には波長 $\lambda_{p8}$ を、そして、TLD70-5には波長 $\lambda_{p1}$ を割り当ててもよい。この組合せは、任意である。

【0093】WDMカブラ71で合波された角周波数 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ 、 $\omega_{p4}$ 、 $\omega_{p7}$ 、 $\omega_{p8}$ の励起光は、FA72で増幅されてWDMカブラ73に入射される。FA72の利得は、光ファイバ74および光ファイバ76で4光波混合を起こすのに十分な利得である。図8に示す箇所aにおける前のノードからこのノードに入射される光は、図9(a)に示すように、角周波数 $\omega_1 \sim \omega_8$ の8個の光信号(WDM方式光信号)である。

【0094】この8個の光信号は、角周波数 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ 、 $\omega_{p4}$ 、 $\omega_{p7}$ 、 $\omega_{p8}$ の励起光とWDMカブラ73で合波され、光ファイバ74に入射される。そして、8個の光信号は、光ファイバ74中で、角周波数 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ 、 $\omega_{p4}$ 、 $\omega_{p7}$ 、 $\omega_{p8}$ の励起光によって[式8]および[式9]に従う4光波混合を起こされる。このため、図8に示す箇所bにおける光ファイバ74の射出端の光は、図9(b)に示すように、角周波数 $\omega_1 \sim \omega_8$ の8個の光信号、角周波数 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ 、 $\omega_{p4}$ 、 $\omega_{p7}$ 、 $\omega_{p8}$ の励起光および角周波数 $\omega_{1\#}$ 、 $\omega_{2\#}$ 、 $\omega_{4\#}$ 、 $\omega_{7\#}$ 、 $\omega_{8\#}$ の5個の4光波混合による光信号である。ここで、4光波混合による各光信号は、それぞれ元の光信号と同一の情報を含む。

【0095】これらの光信号のうちの角周波数 $\omega_1 \sim \omega_8$ の8個の光信号は、WDMカブラ75で分離されて分岐光信号受信回路97に入射される(図9(c))。さらに、これらの光信号のうちの角周波数 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ 、 $\omega_{p4}$ 、 $\omega_{p7}$ 、 $\omega_{p8}$ の励起光および角周波数 $\omega_{1\#}$ 、 $\omega_{2\#}$ 、 $\omega_{4\#}$ 、 $\omega_{7\#}$ 、 $\omega_{8\#}$ の5個の4光波混合による光信号は、挿入光信号生成回路96で生成されたch3、ch5およびch6の光信号(角周波数 $\omega_{3\#}$ 、 $\omega_{5\#}$ 、 $\omega_{6\#}$ )とWDMカブラ75で合波される。このため、図8に示す箇所dにおけるWDMカブラ75と光ファイバ76との間では、図9(d)に示すように、角周波数 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ 、 $\omega_{p4}$ 、 $\omega_{p7}$ 、 $\omega_{p8}$ の励起光、角周波数 $\omega_{1\#}$ 、 $\omega_{2\#}$ 、 $\omega_{4\#}$ 、 $\omega_{7\#}$ 、 $\omega_{8\#}$ の5個の4光波混合による光信号および角周波数 $\omega_{3\#}$ 、 $\omega_{5\#}$ 、 $\omega_{6\#}$ の挿入すべきch3、ch5およびch6の光信号である。

【0096】なお、角周波数 $\omega_1 \sim \omega_8$ の光信号の分離と角周波数 $\omega_{3\#}$ 、 $\omega_{5\#}$ 、 $\omega_{6\#}$ の光信号の合波とは、カブラ75中で同時に起こるため、図8には、図9(c)に示す状態の箇所を示していない。これらの光信号は、光ファイバ76に入射される。そして、角周波数 $\omega_{1\#}$ 、 $\omega_{2\#}$ 、 $\omega_{4\#}$ 、 $\omega_{7\#}$ 、 $\omega_{8\#}$ の5個の4光波混合による光信号は、それぞれ元の光信号と同一の情報を含む。

2#,  $\omega 4\#$ ,  $\omega 7\#$ ,  $\omega 8\#$ の5個の4光波混合による光信号は、光ファイバ76で角周波数 $\omega p1$ ,  $\omega p2$ ,  $\omega p4$ ,  $\omega p7$ ,  $\omega p8$ の励起光によって〔式8〕および〔式9〕に従う4光波混合を再び起こされる。ここで、角周波数 $\omega 3\#$ ,  $\omega 5\#$ ,  $\omega 6\#$ の挿入すべきch3, ch5およびch6の光信号は、〔式8〕および〔式9〕を満たさないため、4光波混合を起こすことはない。このため、図8に示す箇所eにおける光ファイバ76の射出端の光は、図\*

$$\omega 15 = \omega 1, \omega 25 = \omega 2, \omega 45 = \omega 4, \omega 75 = \omega 7, \omega 85 = \omega 8 \cdots \text{〔式12〕}$$

が成立する。そして、各角周波数 $\omega 15$ ,  $\omega 25$ ,  $\omega 45$ ,  $\omega 75$ ,  $\omega 85$ の光信号は、それぞれ角周波数 $\omega 1\#$ ,  $\omega 2\#$ ,  $\omega 4\#$ ,  $\omega 7\#$ ,  $\omega 8\#$ の光信号と同一の情報を含むから、結局、各角周波数 $\omega 15$ ,  $\omega 25$ ,  $\omega 45$ ,  $\omega 75$ ,  $\omega 85$ の光信号※

$$\omega 3\# = \omega 3, \omega 5\# = \omega 5, \omega 6\# = \omega 6$$

であるから、ch3のグリッドに $\omega 3\#$ が、ch5のグリッドに $\omega 5\#$ が、ch6のグリッドに $\omega 6\#$ がそれぞれ挿入される。光ファイバ76から射出された4光波混合による光信号、励起光、再4光波混合による光信号および挿入された光信号は、光フィルタ78に入射され、光フィルタ78でこれらのなかから4光波混合による光信号および励起光が遮断される。このため、図8に示す箇所fの光フィルタ78の射出端における光は、図9(f)に示すように角周波数 $\omega 15$ ,  $\omega 25$ ,  $\omega 45$ ,  $\omega 75$ ,  $\omega 85$ の光信号および角周波数 $\omega 3\#$ ,  $\omega 5\#$ ,  $\omega 6\#$ の光信号、すなわち、角周波数 $\omega 1 \sim \omega 8$ の8波のWDM方式光信号である。

〔0099〕こうしてch3, ch5およびch6に新たな情報を含む光信号が挿入され他のchにはこのノードに入射前の情報が維持された8波のWDM方式光信号が次のノードへ射出される。一方、上述の挿入されるべきch3, ch5およびch6は、次のように生成される。

〔0100〕制御回路80は、ch3に対応する光変調器84-3を駆動し、光変調器84-3でEDFA82-3および光フィルタ83-3を介して入射されるLD81-3からのレーザ光を送出すべき情報で変調することによってch3を生成する。同様に、制御回路80は、LD81-5, EDFA82-5, 光フィルタ83-5および光変調器84-5によってch5を生成し、LD81-6, EDFA82-6, 光フィルタ83-6および光変調器84-6によってch6を生成する。

〔0101〕ここで、ch3, ch5およびch6を除くchについては、そのchに対応する光変調器84が駆動されないため、各LD81からのレーザ光は、それぞれ光変調器84で遮断され、WDMカブラ85に入射されることはない。なお、このOADMで挿入すべきchを除くchのLD81からのレーザ光を確実に遮断する観点から、光変調器84とWDMカブラ85との間にそれぞれ光減衰器または光スイッチを接続してもよい。この光減衰器または光スイッチは、制御回路80によっ

\*9(e)に示すように、角周波数 $\omega 1\#$ ,  $\omega 2\#$ ,  $\omega 4\#$ ,  $\omega 7\#$ ,  $\omega 8\#$ の5個の4光波混合による光信号、角周波数 $\omega p1$ ,  $\omega p2$ ,  $\omega p4$ ,  $\omega p7$ ,  $\omega p8$ の励起光、角周波数 $\omega 15$ ,  $\omega 25$ ,  $\omega 45$ ,  $\omega 75$ ,  $\omega 85$ の再4光波混合による光信号および角周波数 $\omega 3\#$ ,  $\omega 5\#$ ,  $\omega 6\#$ の挿入すべき光信号である。

〔0097〕ここで、〔式8〕および〔式9〕より、

10※は、それぞれ角周波数 $\omega 1$ ,  $\omega 2$ ,  $\omega 4$ ,  $\omega 7$ ,  $\omega 8$ の光信号と同一の情報を含む。

〔0098〕そして、

$$\cdots \text{〔式13〕}$$

て対応する光変調器84と連動して、透過・遮断が制御される。

〔0102〕生成されたch3, ch5およびch6は、WDMカブラ85で合波され、EDFA86で増幅される。このようにしてWDMカブラ75に入射される、挿入すべきch3, ch5およびch6の光信号が生成される。一方、WDMカブラ75で分離された角周波数 $\omega 1 \sim \omega 8$ の光信号は、EDFA87, 1×8カブラ88, 光フィルタ89およびEDFA90を介して各光受信器91に入射される。ここで、各光受信器91では、各光フィルタ89の通過帯域がchごとに設定されるので、所定のchのみ入射される。

〔0103〕制御回路80は、このOADMで分岐すべきchがch3, ch5およびch6なので、これらのchに対応する光受信器91-3, 91-5, 91-6からのみ出力を得て、これらのchに含まれる情報を取り出す。上述の例では、ch3, ch5およびch6を分岐・挿入する場合について説明したが、分岐・挿入するchに対応させて励起光の角周波数、光変調器84および光受信器91を制御することにより、任意の個数であって任意のchを分岐・挿入することができる。

〔0104〕また、上述の例では、分岐するchの個数と挿入するchの個数とを一致させたが、挿入するchの個数を分岐するchの個数以下にしてもよい。この場合には、挿入されなかったchのグリッドには、光信号が存在しないことになる。以上のように、第2の実施形態におけるOADMは、制御回路80、励起光源95、WDMカブラ73、光ファイバ74およびWDMカブラ75によって任意の個数であって任意のchを分岐することができ、挿入光信号生成回路96、WDMカブラ75、光ファイバ76、光フィルタ78によって任意の個数であって任意のchを挿入することができる。

〔0105〕次に、別の実施形態について説明する。

（第3の実施形態の構成）第3の実施形態におけるOADMは、請求項6ないし請求項8に記載の発明に対応する実施形態である。第3の実施形態と第2の実施形態と

の主な相違点は、第2の実施形態では、OADMを透過するチャンネルに相当する光信号に4光波混合を起こさせたが、第3の実施形態では、OADMで分岐するチャンネルに相当する光信号に4光波混合を起こさせる点である。

【0106】図11は、第3の実施形態におけるOADMの構成を示す図である。図12は、第3の実施形態のOADMにおける各箇所の光スペクトルを示す図である。第3の実施形態におけるOADMは、8波のWDM方式光信号のうちから任意のchを分岐・挿入するものである。なお、第2の実施形態におけるOADMと同一の構成に対しては、同一の参照番号を付しその説明を省略する。

【0107】図11において、前のノードから伝送された8波のWDM方式光信号は、EDFA92に入射され、増幅後にWDMカブラ73の一方の入射ポートに入射される。そして、励起光源95からのレーザ光もWDMカブラ73の他方の入射ポートに入射される。励起光源95は、第2の実施形態と同一の構成なので、その説明を省略する。

【0108】WDMカブラ73に入射されたWDM方式光信号と励起光であるレーザ光とは、このWDMカブラ73で合波されて光ファイバ74に入射される。光ファイバ74は、図10に示す波長分散特性を持つ光ファイバであり、[式8]および[式9]が同時に成立する性質を持つ。図8に戻って、この光ファイバ74でWDM方式光信号は、励起光であるレーザ光によって4光波混合を起こす。

【0109】光ファイバ74から射出された励起光、WDM方式光信号および4光波混合によって生じたWDM方式光信号は、誘電体多層膜フィルタのWDMカブラ101に入射される。WDMカブラ101は、励起光、WDM方式光信号および4光波混合によって生じたWDM方式光信号の中から4光波混合によって生じたWDM方式光信号を分岐光信号受信回路97へ分離し、励起光およびWDM方式光信号をリジェクションフィルタ部102に入射させる。WDMカブラ101の遮断波長は、WDM方式光信号の波長帯域と励起光の波長帯域とが決まると、[式8]および[式9]により、4光波混合によって生じる光信号の波長帯域も計算されるので、励起光の波長帯域と4光波混合によって生じる光信号の波長帯域との間に設定すればよい。

【0110】分岐光信号受信回路97は、第2の実施形態と同一の構成なので、その説明を省略する。リジェクションフィルタ部102は、WDMカブラ101で分離された4光波混合光を生成する元になった光信号をWDM方式光信号から取り除くフィルタである。

【0111】リジェクションフィルタ部102は、例えば、音響光学チューナブルフィルタ(acousto-optic tunable filter、以下、「AOTF」と略記する。)を使

用することができる。AOTFは、音響光学効果により誘起される屈折率変化により、入射光を回折効果により分離・選択する音響光学フィルタである。この音響光学効果を生じさせる超音波には、弾性表面波が利用され、弾性表面波は、圧電作用を示す基板上に形成された電極にRF周波数の電圧を印加することによって生じさせる。このAOTFを使用することで制御回路104によってAOTFに印加するRF周波数を制御することにより、リジェクションフィルタ部102に入射されたWDM方式光信号は、WDMカブラ101で分離された4光波混合光を生成する元になった光信号を取り除かれる。なお、例えば、ch1とch2とを遮断するためには、ch1を遮断するRF周波数とch2を遮断するRF周波数とをAOTFに印加することになる。

【0112】また、リジェクションフィルタ部102は、例えば、WDM方式光信号のch数分だけ用意されたFBGとこれらFBGを選択するスイッチとから構成することもできる。これら各FBGは、WDM方式光信号のch数に合わせて本実施形態においては8個用意され、各FBGの透過中心波長は、各chの波長にそれぞれ合わせて設定される。そして、スイッチによって、8個のFBGから遮断すべきchの波長にあった透過中心波長を持つFBGを選択して順次に継続接続する。この構成で制御回路104によってスイッチを制御することにより、リジェクションフィルタ部102に入射されたWDM方式光信号は、選択されたFBGを通過することにより、WDMカブラ101で分離された4光波混合光を生成する元になった光信号を取り除かれる。

【0113】所定のchを取り除かれたWDM方式光信号と励起光は、誘電体多層膜フィルタであるWDMカブラ103に入射される。また、挿入光信号生成回路96で生成された挿入すべき光信号もWDMカブラ103に入射される。挿入光信号受信回路96は、第2の実施形態と同一の構成なので、その説明を省略する。

【0114】WDMカブラ103は、所定のchを取り除かれたWDM方式光信号に挿入すべき光信号を合波する。WDMカブラ103からのWDM方式光信号と励起光は、光フィルタ78に入射される。光フィルタ78は、励起光を遮断するとともにWDM方式光信号を透過させる誘電体多層膜フィルタである。

【0115】なお、第3の実施形態では、WDMカブラ103の後段に光フィルタ78を設けたが、この構成の他に、光フィルタ78は、光ファイバ74とWDMカブラ101との間、WDMカブラ101とリジェクションフィルタ部102との間、または、リジェクションフィルタ部102とWDMカブラ103との間のうちのいずれかに設ければよい。

【0116】光フィルタ78から射出されたWDM方式光信号は、EDFA93によって増幅され、次のノードへ伝送される。



(本発明と第3の実施形態との対応関係) 請求項6に記載の発明と第3の実施形態との対応関係については、発生手段は光ファイバ74に対応し、分岐手段はWDMカブラ101に対応し、制御手段は制御手段104に対応する。

【0117】請求項7に記載の発明と第3の実施形態との対応関係については、発生手段は光ファイバ74に対応し、分岐手段はWDMカブラ101に対応し、遮断透過手段はリジクションフィルタ部102に対応し、挿入手段はWDMカブラ103に対応し、制御手段は制御回路104に対応する。請求項8に記載の発明と第2の実施形態との対応関係については、光受信手段は分岐光信号受信回路97に対応し、光送信手段は挿入光信号生成回路96に対応する。

【0118】(第3の実施形態の作用効果)このような構成のOADMにおいて、8波のWDM方式光信号から、例えば、ch3、ch5およびch6を分岐・挿入する場合について、その作用効果を説明する。第3の実施形態においては、制御回路104は、8個のTLD70の中から分岐・挿入する個数に等しい個数のTLD70を選択する。この例では、ch3、ch5およびch6を分岐・挿入するので、3個のTLD70、例えば、TLD70-1~70-3を選択する。そして、制御回路104は、これら3個のTLD70にch3、ch5およびch6に4光波混合を生じさせる波長 $\lambda_{p3}$ 、 $\lambda_{p5}$ 、 $\lambda_{p6}$ (角周波数 $\omega_{p3}$ 、 $\omega_{p5}$ 、 $\omega_{p6}$ )の励起光をそれぞれ発振させる。

【0119】ここで、発振した各励起光は、WDMカブラ71で合波されるため、各波長 $\lambda_{p3}$ 、 $\lambda_{p5}$ 、 $\lambda_{p6}$ をTLD70-1~70-3にどのように割り当ててもよい。WDMカブラ71で合波された角周波数 $\omega_{p3}$ 、 $\omega_{p5}$ 、 $\omega_{p6}$ の励起光は、FA72で増幅されてWDMカブラ73に入射される。FA72の利得は、光ファイバ74で4光波混合を起こすのに充分な利得である。

【0120】図11に示す箇所aにおける前のノードからこのノードに入射される光は、図12(a)に示すように、角周波数 $\omega_1 \sim \omega_8$ の8個の光信号(WDM方式光信号)である。

【0121】この8個の光信号は、角周波数 $\omega_{p3}$ 、 $\omega_{p5}$ 、 $\omega_{p6}$ の励起光とWDMカブラ73で合波され、光ファイバ74に入射される。そして、8個の光信号は、光ファイバ74中で、角周波数 $\omega_{p3}$ 、 $\omega_{p5}$ 、 $\omega_{p6}$ の励起光によって【式8】および【式9】に従う4光波混合を起こされる。このため、図11に示す箇所bにおける光ファイバ74の射出端の光は、図12(b)に示すように、角周波数 $\omega_1 \sim \omega_8$ の8個の光信号、角周波数 $\omega_{p3}$ 、 $\omega_{p5}$ 、 $\omega_{p6}$ の励起光および角周波数 $\omega_{3\#}$ 、 $\omega_{5\#}$ 、 $\omega_{6\#}$ の3個の4光波混合による光信号である。ここで、4光波混合による各光信号は、それぞれ元の光信号と同一の情報を含む。

【0122】これらの光信号のうちの角周波数 $\omega_{3\#}$ 、 $\omega_{5\#}$ 、 $\omega_{6\#}$ の3個の光信号は、WDMカブラ101で分離されて分岐光信号受信回路97に入射される。このため、図11に示す箇所cでは、図12(c)に示すように、角周波数 $\omega_{p3}$ 、 $\omega_{p5}$ 、 $\omega_{p6}$ の励起光および角周波数 $\omega_1 \sim \omega_8$ のWDM方式光信号である。これらの光は、制御回路104で制御されるリジクションフィルタ部102に入射され、角周波数 $\omega_3$ 、 $\omega_5$ 、 $\omega_6$ の光信号が取り除かれる。このため、図11に示す箇所dでは、図12(d)に示すように、WDM方式光信号にch3、ch5およびch6に「空き」が作られる。

【0123】そして、「空き」を持つWDM方式光信号は、挿入光信号生成回路96で生成されたch3、ch5およびch6の光信号(角周波数 $\omega_3$ 、 $\omega_5$ 、 $\omega_6$ )とWDMカブラ75で合波される。このため、図11に示す箇所eでは、図12(e)に示すように、角周波数 $\omega_{p3}$ 、 $\omega_{p5}$ 、 $\omega_{p6}$ の励起光、角周波数 $\omega_1 \sim \omega_8$ のWDM方式光信号である。

【0124】これらの励起光とWDM方式光信号は、光ファイバ78に入射され、励起光が遮断される。このため、図11に示す箇所fでは、図12(f)に示すように角周波数 $\omega_1 \sim \omega_8$ のWDM方式光信号である。こうしてch3、ch5およびch6に新たな情報を含む光信号が挿入され他のchにはこのノードに入射前の情報が維持された8波のWDM方式光信号が次のノードへ射出される。

【0125】なお、第3の実施形態において、挿入光信号生成回路96および分岐光信号受信回路97に対する制御回路104の制御は、第2の実施形態と同様なので、その説明を省略する。また、上述の例では、分岐するchの個数と挿入するchの個数とを一致させたが、挿入するchの個数を分岐するchの個数以下にしてもよい。この場合には、挿入されなかったchのグリッドには、光信号が存在しないことになる。

【0126】以上のように、第3の実施形態におけるOADMは、制御回路104、励起光源95、WDMカブラ73、光ファイバ74およびWDMカブラ101によって任意の個数であって任意のchを分岐することができ、制御回路104、挿入光信号生成回路96、リジクションフィルタ部102、WDMカブラ103および光フィルタ78によって任意の個数であって任意のchを挿入することができる。

【0127】なお、第1の実施形態ないし第3の実施形態においては、TLDとして可変波長ブラッグ反射型半導体レーザを使用したのがこれに限定されるものではない。例えば、素子温度を制御することによって発振波長が変化する可変波長分布帰還型半導体レーザを使用してもよい。あるいは、各励起光の角周波数に対応する複数個の半導体レーザをアレイ状に配置して、分岐・挿入すべきchに応じてこれら複数個の半導体レーザの中から



選択的に発振させてもよい。このように各励起光の角周波数に対応する光を選択的に供給することができる光源を使用することができる。

【0128】また、WDM方式光信号として、第1の実施形態においては32波を、第2の実施形態および第3の実施形態においては8波を使用する場合について説明したが、これに限定されるものではない。任意の多重度のWDM方式光信号を使用することができる。

【0129】さらに、第1の実施形態においては、WDM方式光信号をカブラ54によって遮断したが、これに限定されるものではない。例えば、WDM方式光信号を含む波長帯域を遮断する光フィルタを使用してもよい。また、第2の実施形態および第3の実施形態においては、光変調器としてマッハツェンダー形光変調器を使用した。これに限定されるものではない。例えば、逆バイアスしたpn接合部で、フランツ・ケルディッシュ効果(Franz-Keldysh effect)により光をオン・オフする半導体吸収形光変調器を使用してもよい。

【0130】さらに、第1の実施形態においては、TLD50によって光ファイバ53および光ファイバ62の両方に励起光を供給するようにしたが、光ファイバ62に励起光を供給するTLDをさらにもう1個設け、別々に励起光を供給するようにしてもよい。第2の実施形態および第3の実施形態においては、励起光源95によって光ファイバ74および光ファイバ76の両方に励起光を供給するようにしたが、光ファイバ76に励起光を供給する励起光源をさらにもう1個設け、別々に励起光を供給するようにしてもよい。

【0131】また、第1の実施形態ないし第3の実施形態において、WDMカブラとして誘電体多層膜フィルタを使用したが、これに限定されるものではない。例えば、アレイ導波路回折格子(arrayed waveguide grating; AWG)などの他のWDMカブラを使用することができる。さらに、第1の実施形態ないし第3の実施形態において、前のノードとこのノードとの伝送距離が長いために光信号に劣化が生じている場合には、波長分散を補償する分散補償器を通過させた後にカブラ52、73に入射させるようにすると好適である。また、このノードと次のノードとの伝送距離が長いために光信号に劣化が生じる虞がある場合には、波長分散を予め補償する分散補償器を通過させた後に次のノードへ送出するようにすると好適である。

【0132】また、第1の実施形態ないし第3の実施形態において、各光部品の接続部などで発生する反射光を防止するため、前のノードより入射されたWDM方式光信号が上述の処理をされて次のノードへ射出されるまでの間のいずれの箇所にも必要に応じて必要個数の光アイソレータを設けるようにすると好適である。

【0133】

【発明の効果】請求項1および請求項3に記載の発明で

は、光ファイバ中で起こる4光波混合を利用することにより、任意の波長の1個の光信号を分岐することができる。

【0134】そして、請求項2、請求項4および請求項8に記載の発明では、光ファイバ中で起こる4光波混合を利用することにより、任意の波長の1個の光信号を分岐・挿入することができる。特に、請求項2および請求項4に記載の発明では、第1光ファイバおよび第2光ファイバに所定の波長範囲において波長分散がほぼ零の光ファイバを用いるので、4光波混合光の波長特性に偏差がないようにすることができる。

【0135】また、請求項5、請求項7および請求項8に記載の発明では、光ファイバ中で起こる4光波混合を利用することにより、任意の波長でかつ複数の光信号を分岐・挿入することができる。さらに、請求項6に記載の発明では、光ファイバ中で起こる4光波混合を利用することにより、任意の波長でかつ複数の光信号を分岐することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】請求項1ないし請求項4に記載の発明の原理構成を示す図である。

【図2】4光波混合により任意の光信号を挿入・分岐する原理を説明するための図である。

【図3】請求項5に記載の発明の原理構成を示す図である。

【図4】請求項6および請求項7に記載の発明の原理構成を示す図である。

【図5】第1の実施形態におけるOADMの構成を示す図である。

【図6】第1の実施形態のOADMにおける各箇所の光スペクトルを示す図である。

【図7】第1の実施形態のOADMにおいて4光波混合を生じさせる光ファイバの波長分散特性を示す図である。

【図8】第2の実施形態におけるOADMの構成を示す図である。

【図9】第2の実施形態のOADMにおける各箇所の光スペクトルを示す図である。

【図10】第2の実施形態のOADMにおいて4光波混合を生じさせる光ファイバの波長分散特性とその角周波数伝搬定数特性を示す図である。

【図11】第3の実施形態におけるOADMの構成を示す図である。

【図12】第3の実施形態のOADMにおける各箇所の光スペクトルを示す図である。

【図13】従来のOADMの構成を示す図である。

【符号の説明】

1、5 光分岐・挿入装置

10 4光波混合分岐手段

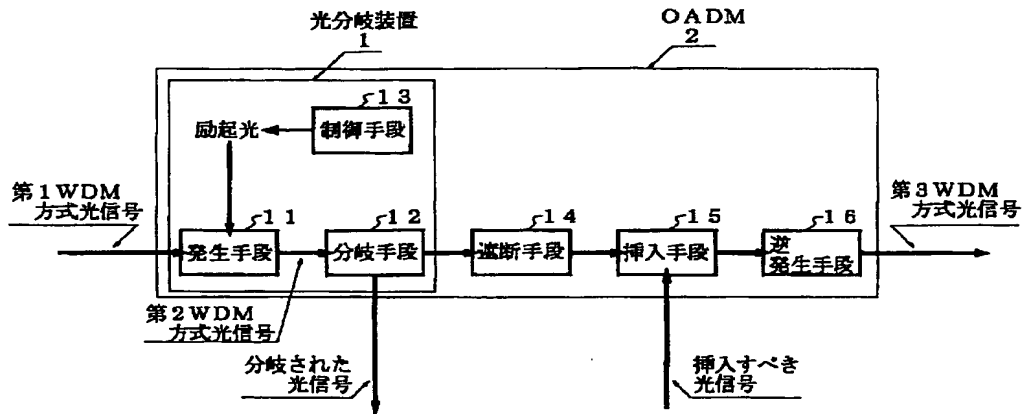
11 4光波混合挿入手段

12、23 励起光発生手段  
 13、24 制御手段  
 20 第1光ファイバ  
 21 分岐・挿入手段  
 22 第2光ファイバ  
 25 光フィルタ  
 50、70 チューナブルレーザ  
 53、62、74、76 光ファイバ

\* 54、75、101、103 WDMカプラ  
 55、61 光サーキュレータ  
 57、97 分岐光信号受信回路  
 58 反射型光フィルタ  
 59、96 挿入光信号生成回路  
 63、78 光フィルタ  
 95 励起光源  
 \* 102 リジェクションフィルタ部

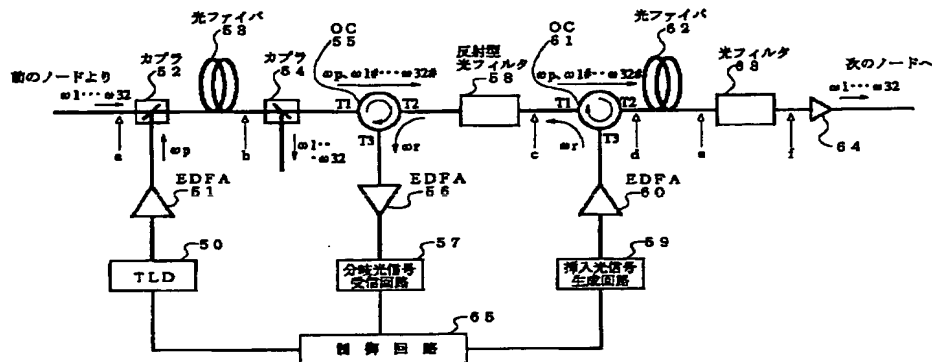
【図1】

請求項1ないし請求項4に記載の発明の原理構成



【図5】

第1の実施形態におけるOADMの構成

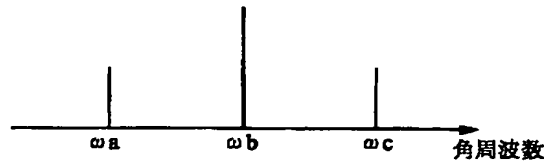


光 SC: 光サーキュレータ  
 EDFA: エルビウム増強光ファイバ増幅器  
 TLD: チューナブルレーザ

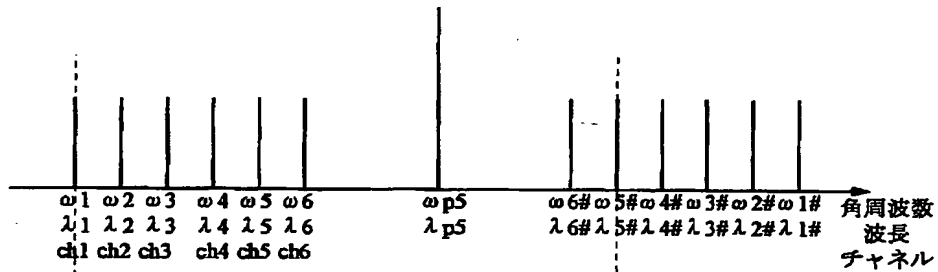
【図2】

4光波混合により任意の光信号を分岐・挿入する原理を説明するための図

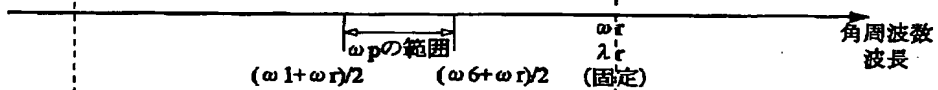
(a)



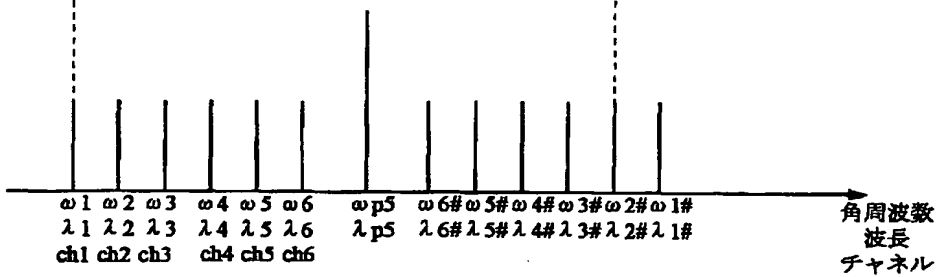
(b)



(c)

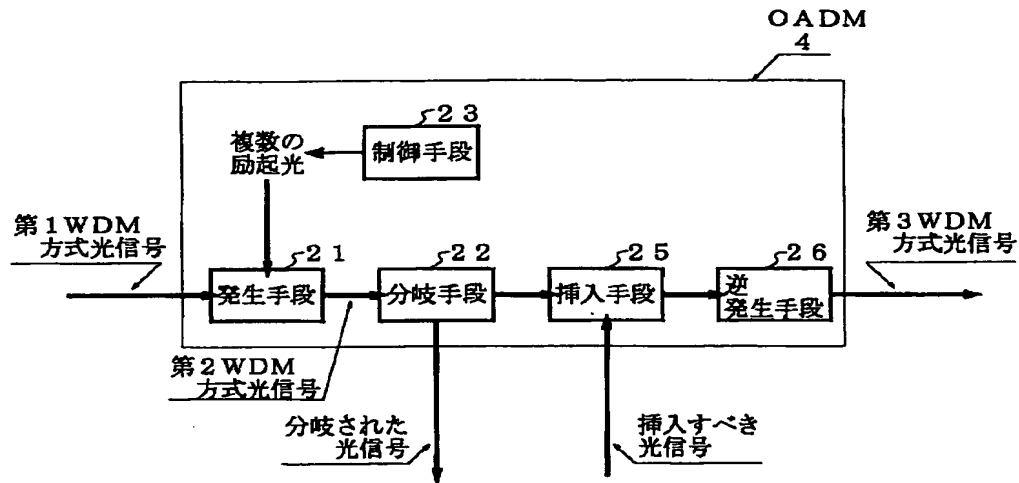


(d)



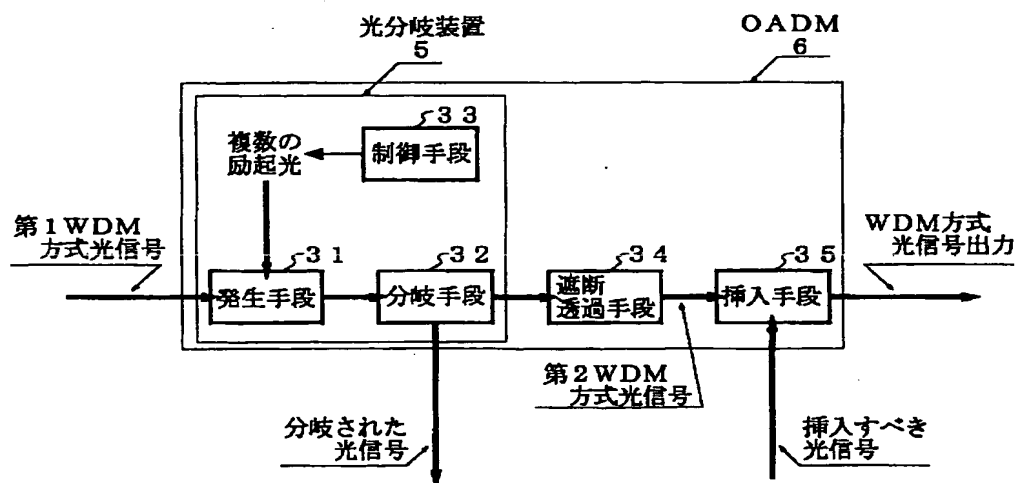
【図3】

請求項5に記載の発明の原理構成



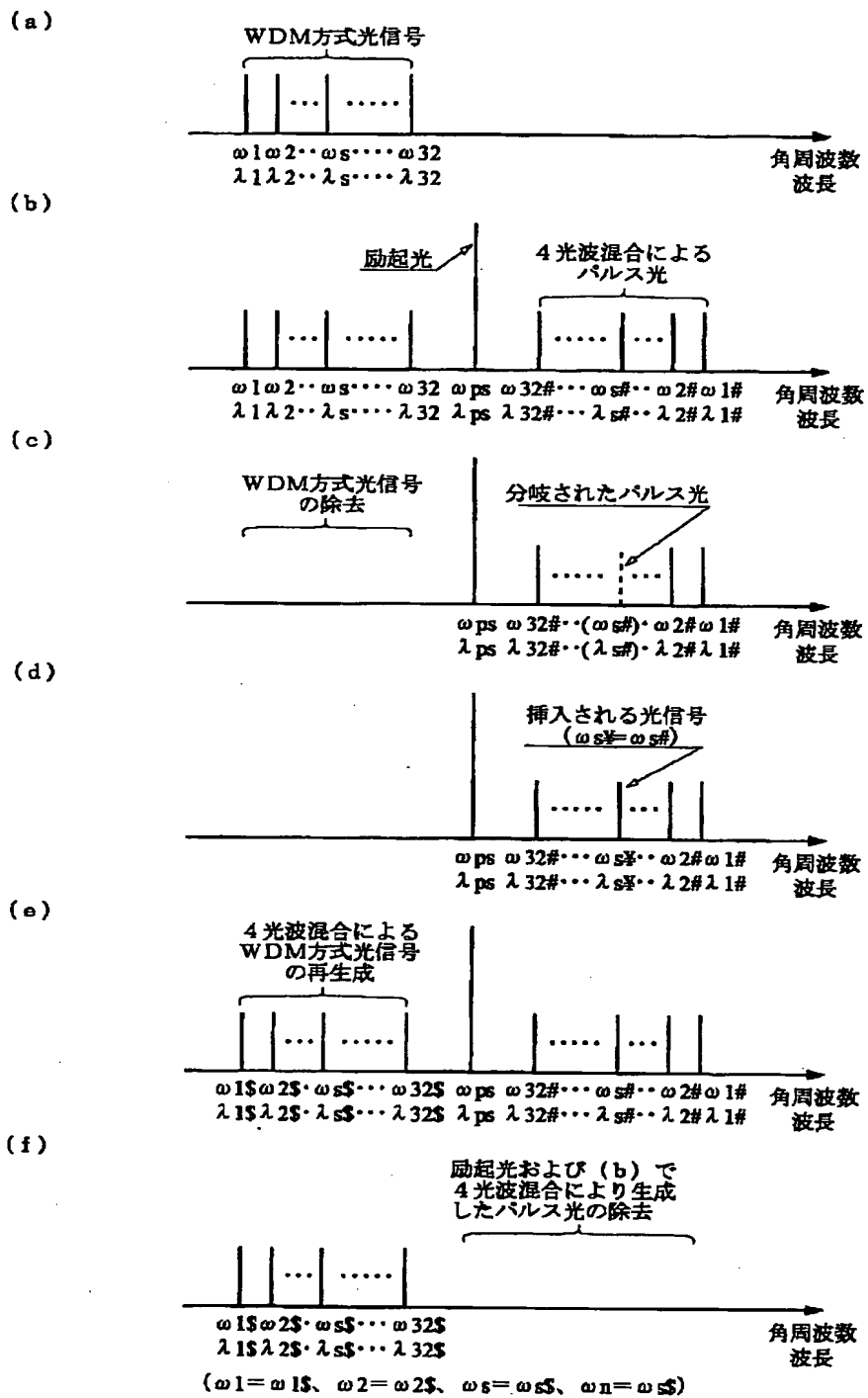
【図4】

請求項6および請求項7に記載の発明の原理構成



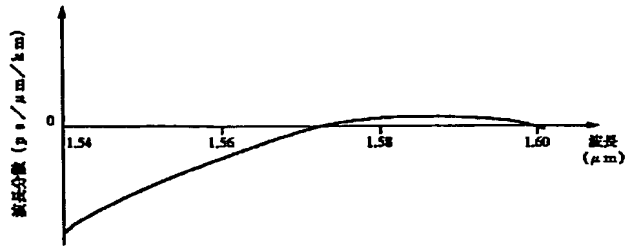
【図6】

第1の実施形態のOADMにおける各箇所の光スペクトル



【図7】

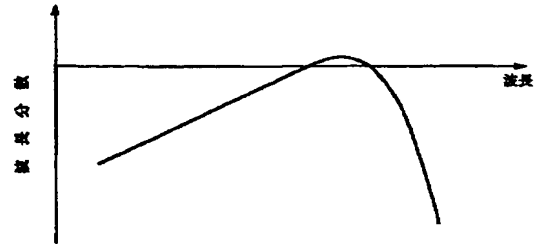
第1の実施形態のOADMにおいて  
4光波混合を生じさせる光ファイバの波長分散特性



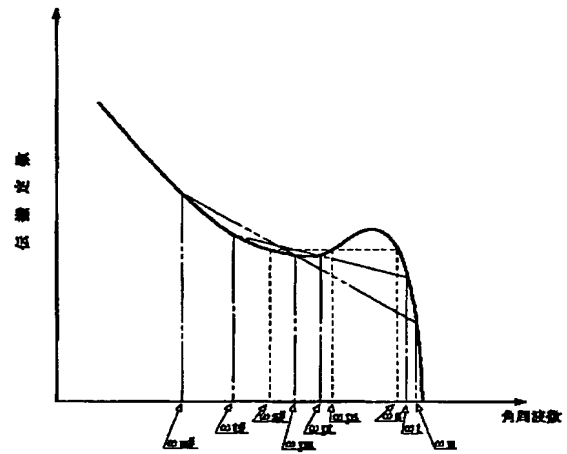
【図10】

第2の実施形態のOADMにおいて4光波混合を生じさせる光ファイバの  
波長分散特性とその波長伝搬定数特性

(a)

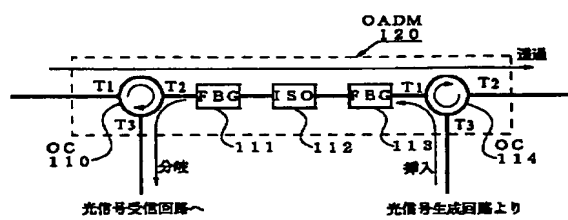


(b)



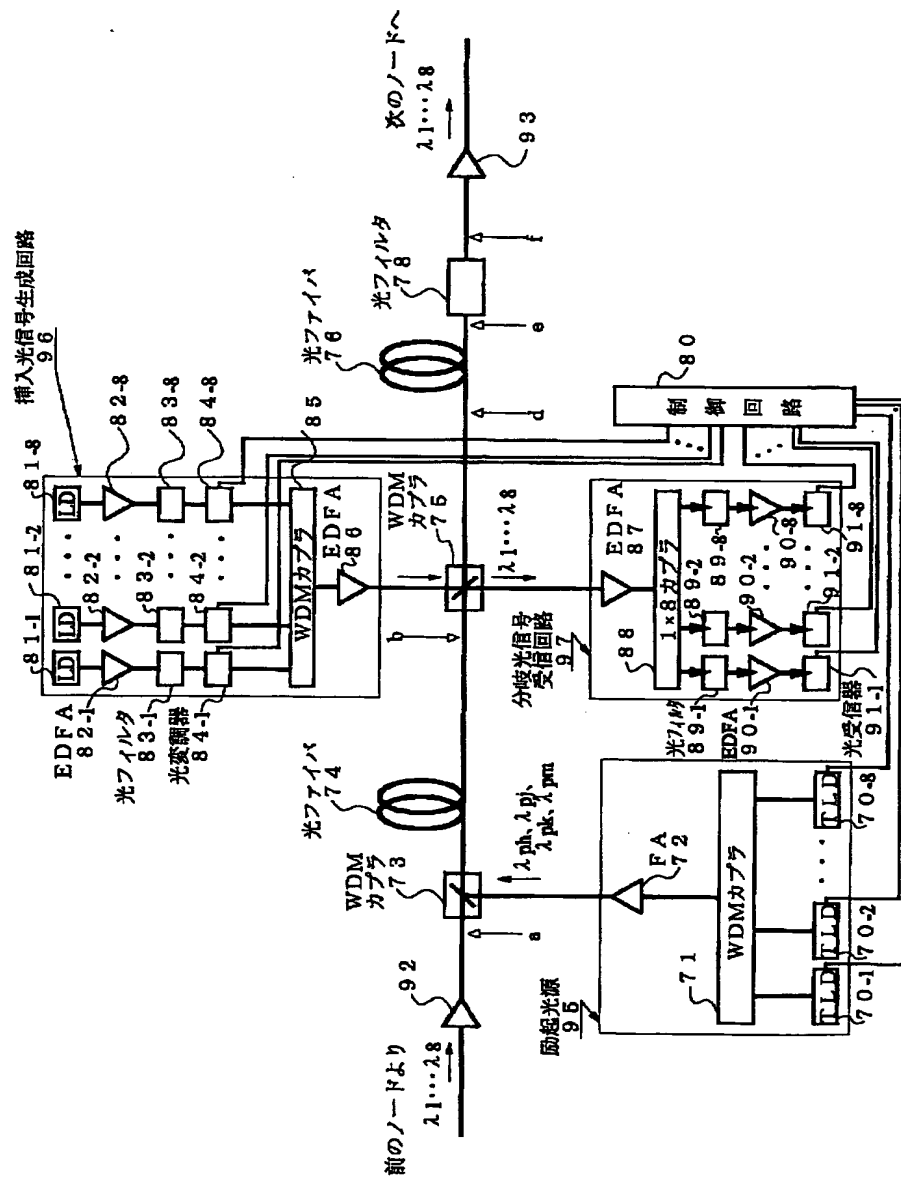
【図13】

従来のOADM回路の構成



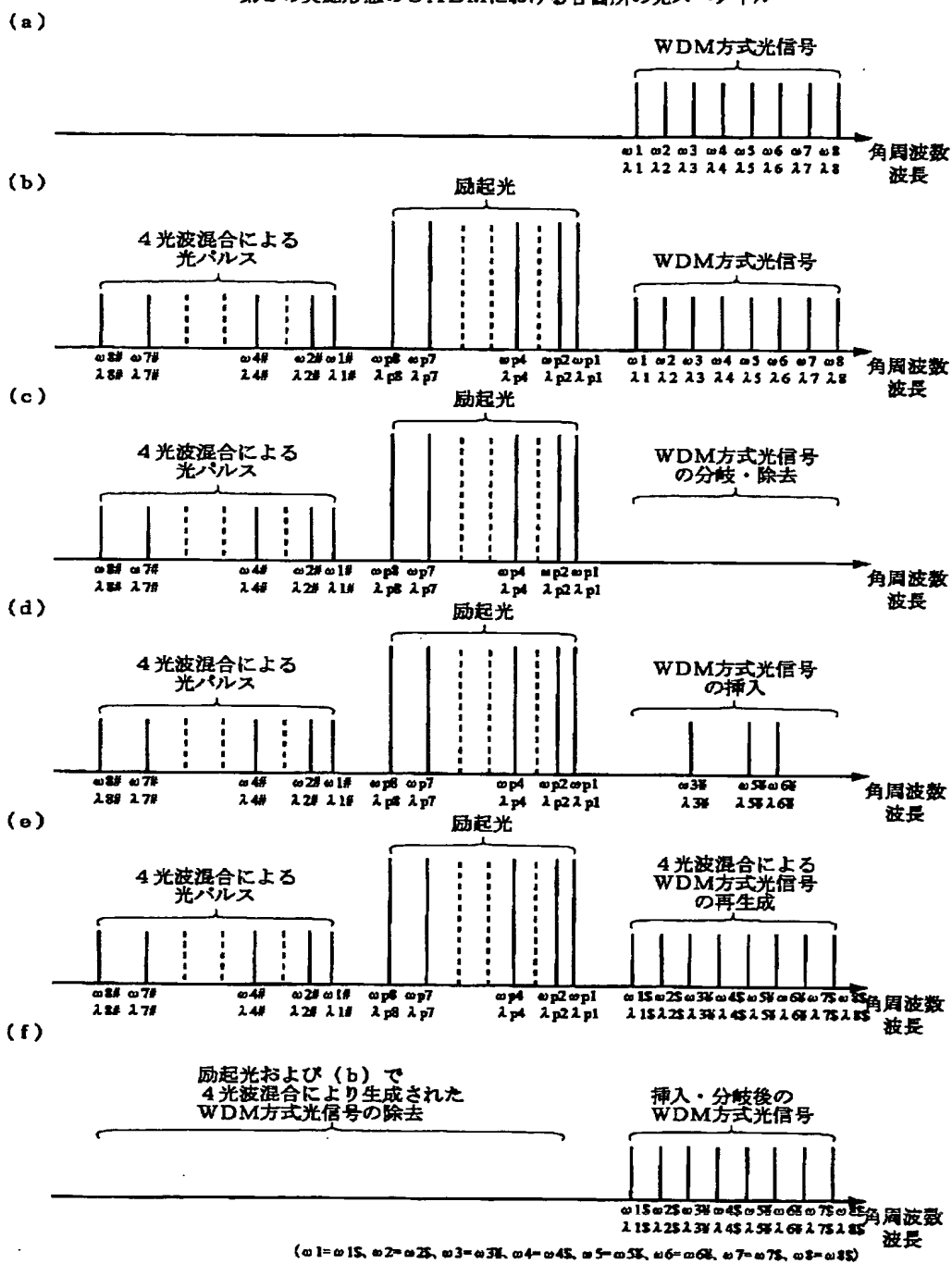
【図8】

第2の実施形態におけるOADMの構成



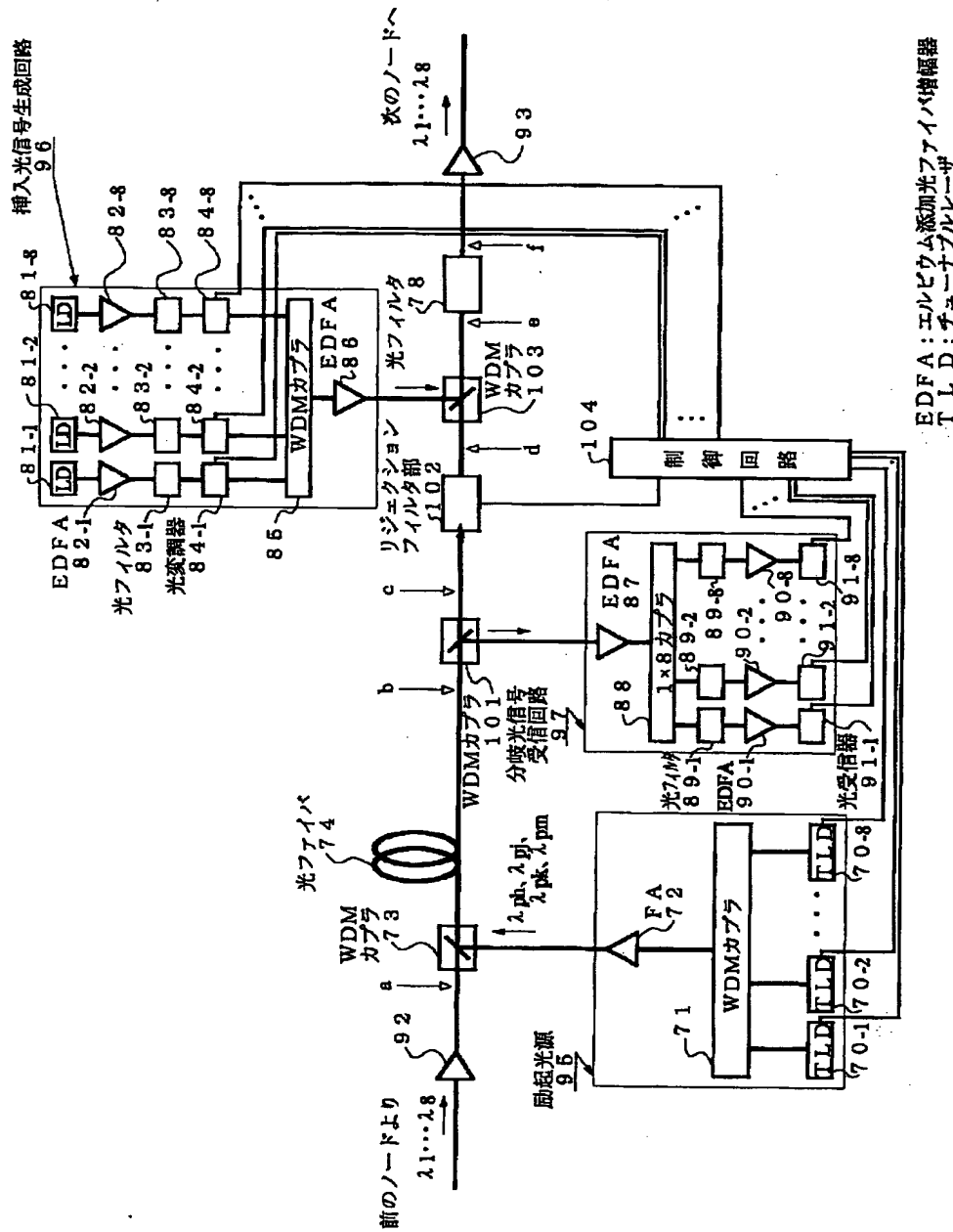
【図9】

第2の実施形態のOADMにおける各箇所の光スペクトル



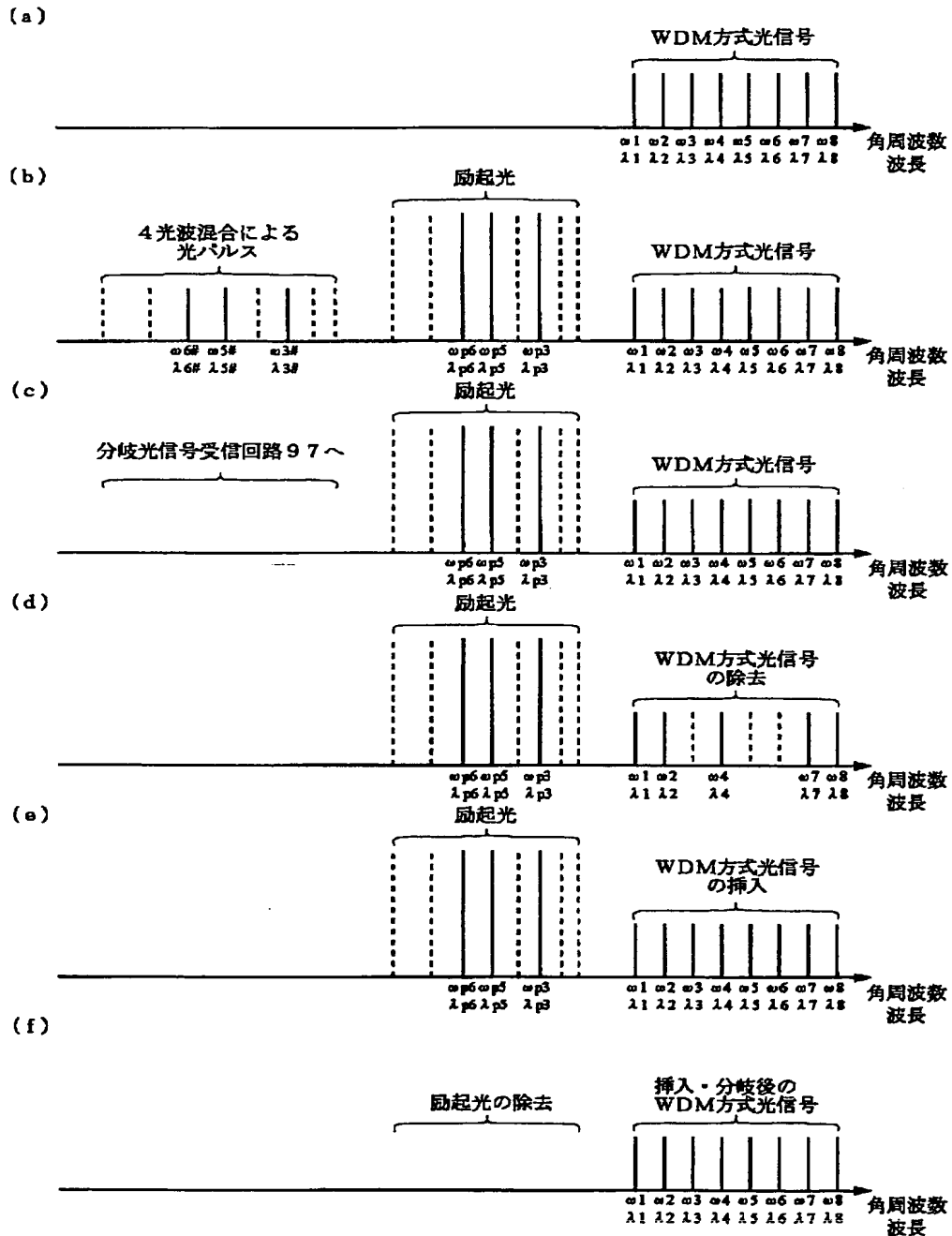


### 第3の実施形態におけるOADMの構成



【図12】

第3の実施形態のOADMにおける各箇所の光スペクトル



フロントページの続き

(72)発明者 守谷 薫  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
 1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 2K002 AA02 AB12 BA01 CA15 DA10  
 HA31  
 5K002 BA05 BA21 CA05 CA13 DA02  
 FA01